

CAPITOLO 5

PROBLEMI GEOTECNICI DELLE ARGINATURE DI CONTENIMENTO DELLE CASSE DI ESPANSIONE

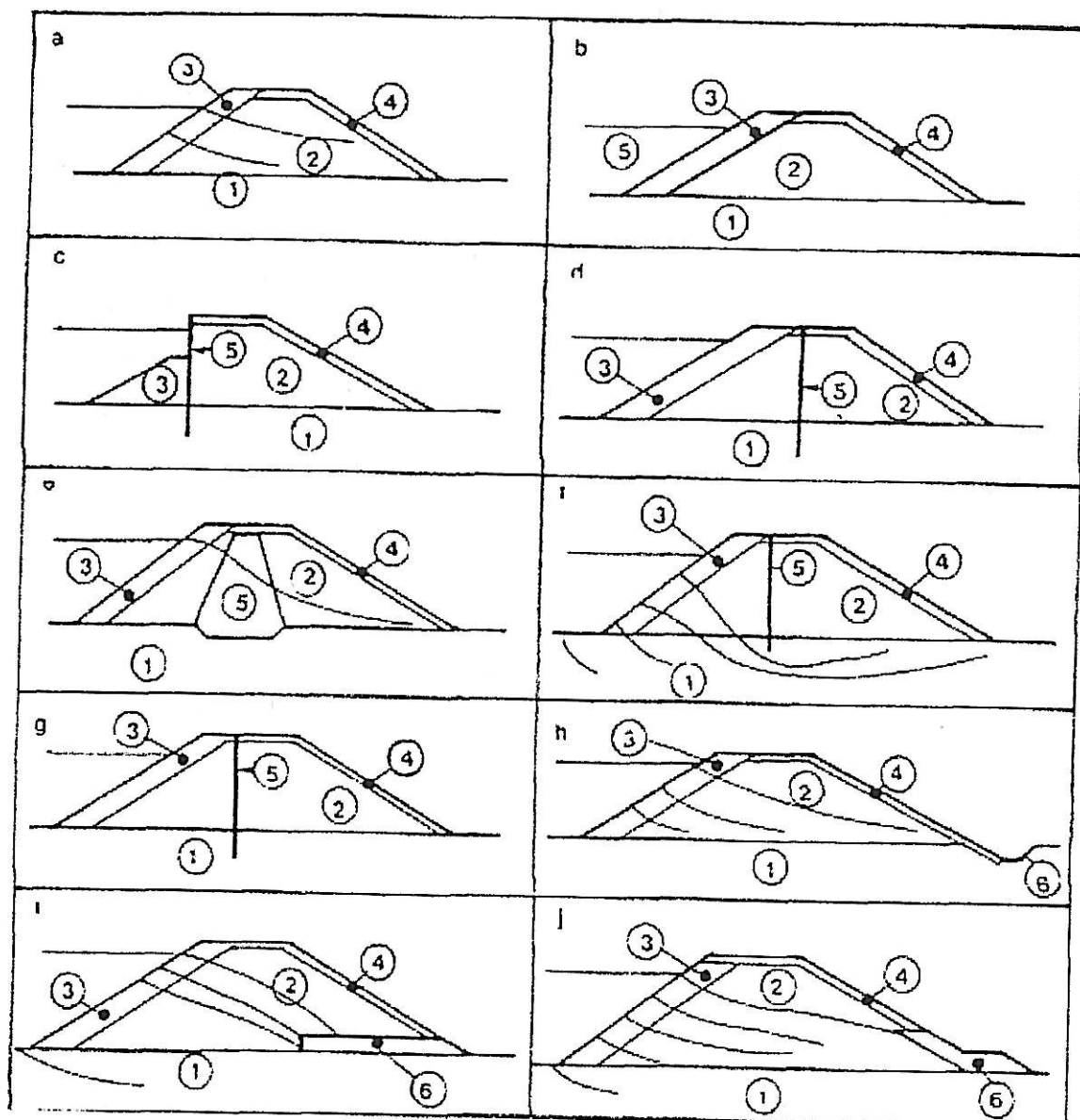
1. Aspetti normativi

Gli argini di contenimento delle casse possono essere assimilate alle arginature fluviali¹ e quindi, per quanto riguarda la normativa, si deve fare riferimento al D.M. 11/03/1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”, punto E “Manufatti di materiali sciolti”.

Devono peraltro essere assoggettate ad alcune norme previste per le dighe in terra e quindi soggette alle prescrizioni di cui ai punti H5, H6 ed I del D.M. 24/03/1982 “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento”.

Quale normativa internazionale si può considerare quanto suggerito dall’A.I.P.C.N., come ad esempio il Supplement au Bulletin n. 69 (1990) “Surveillance et controle des Endiguements Lateraux de grande longueur”. Nel documento del Gruppo di Lavoro n° 10 vengono indicate le possibili configurazioni delle arginature (Figura 1) ed indicati i possibili meccanismi di rottura (Figura 2).

¹ La Circolare della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 7 Aprile 1999 stabilisce infatti di fare riferimento alle normative di settore.



1-Suolo di fondazione 4-Pendio a valle
 2-Corpo dell'argine 5- Diaframma
 3-Pendio a monte 6- Drenaggio

- a : Argine omogeneo
 b : Argine con diaframma esterno
 c : Argine con diaframma esterno (schermo verticale)
 d : Argine con diaframma interno sottile (schermo verticale)
 e : Argine con diaframma interno (nocciolo)
 f : Argine con fondazione permeabile
 g : Argine con fondazione impermeabile
 h : Argine con drenaggio tramite pozzo o trincea
 i : Argine con drenaggio tramite sperone o dreni orizzontali
 j : Argine con drenaggio superficiale

Figura 1 Possibili configurazioni delle arginature (A.I.P.C.N., 1990)

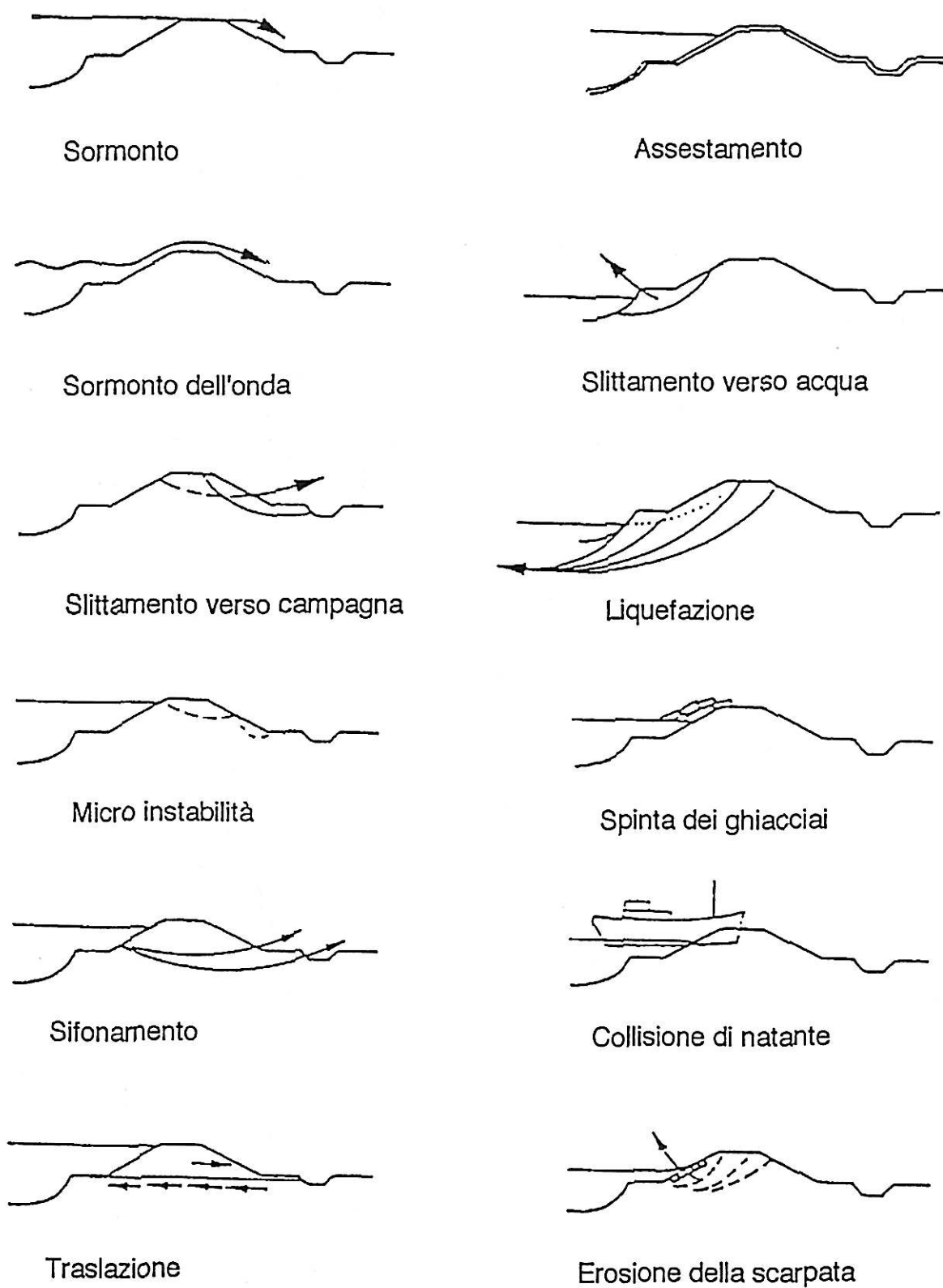


Figura 2 Possibili meccanismi di rottura (A.I.P.C.N., 1990)

2. *Scelta dei materiali da costruzione: individuazione delle cave, prove di laboratorio (costipamento e permeabilità), modalità costruttive e controlli in corso d'opera.*

I materiali impiegati, provenienti dalle cave, devono avere le caratteristiche fisiche e meccaniche delle arginature cioè terreni tipo A-6, con contenuto in sabbia non inferiore al 15% o di tipo A-4 con contenuto in sabbia non superiore al 50% (classificazione CNR UNI 10006), e coefficiente di permeabilità $K \leq 10^{-7} \text{m/s}$.

La posa in opera avviene, in strati dello spessore non maggiore di 30 cm, con energia pari a quella Proctor Standard, in maniera da raggiungere un grado di addensamento pari al 95% del maximum e $\pm 2\%$ dell'umidità all'optimum, determinati con le prove di costipamento in laboratorio.

Particolare cura deve essere dedicata alla scelta di materiali poco suscettibili a fenomeni di rigonfiamento e ritiro, problema particolarmente importante per gli argini delle casse di espansione soggetti a forti variazioni del tenore di umidità.

Nella maggior parte delle situazioni il ricorso a sezioni arginali formate da materiale omogeneo non è possibile, a causa delle difficoltà di reperimento di cave di terreni idonei; è quindi necessario ricorrere a nuclei impermeabili posti all'interno del corpo arginale; tali nuclei devono essere realizzati con materiali tipo A6 e A7-6 e per non essere soggetti a rigonfiamento e ritiro vanno protetti con adeguati materiali di ricoprimento (Figura 3).

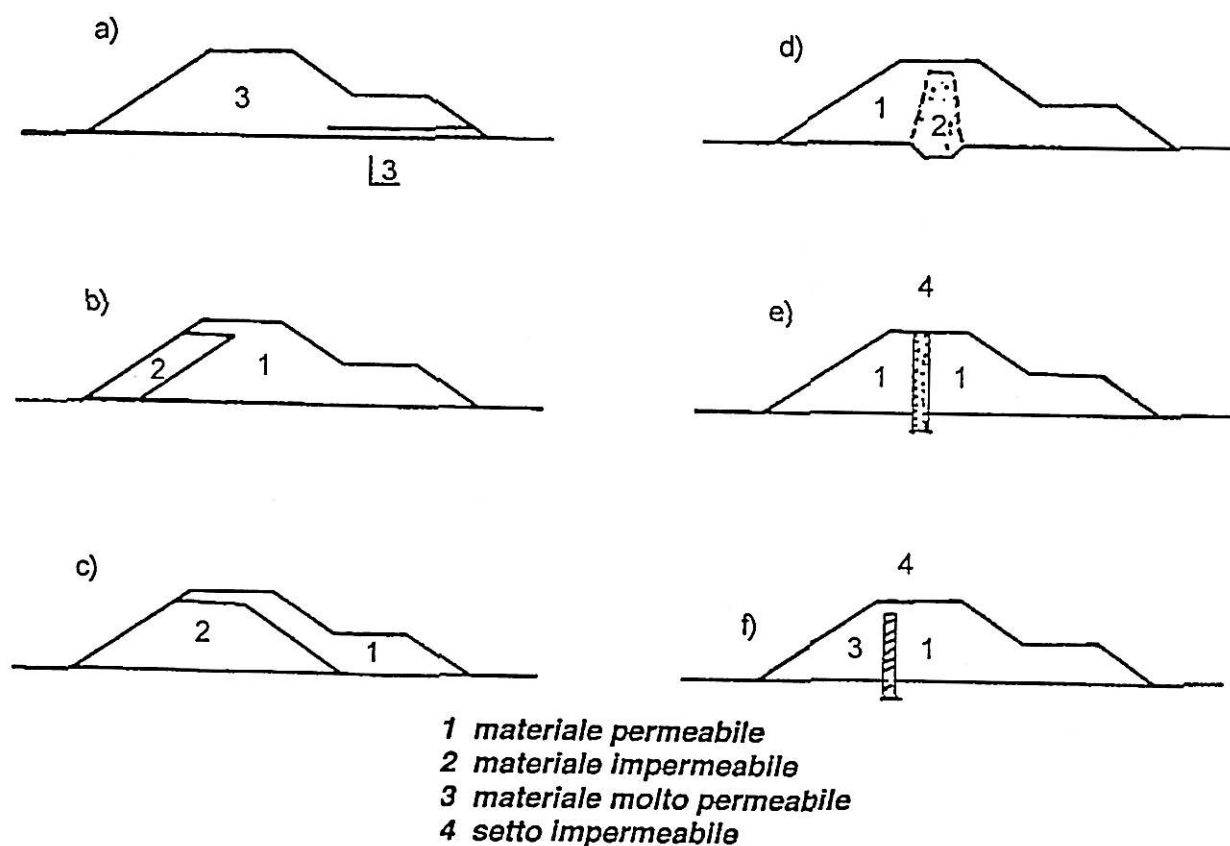


Figura 3 Esempi di collocamento dei nuclei (Colleselli, 1998)

3. Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, capacità portante e cedimenti, filtrazione, interventi atti a limitare il pericolo di sifonamento (diaframmi o taglioni).

Le indagini geotecniche comprendono anche quelle geofisiche ed hanno lo scopo di valutare le caratteristiche meccaniche e la permeabilità dei terreni di fondazione per analizzare sia i problemi di filtrazione ed il pericolo di sifonamento, sia la capacità portante e la compressibilità specie in presenza di terreni particolarmente cedevoli, che possono dare luogo ad importanti cedimenti sia durante che dopo la costruzione. Per limitare il pericolo di sifonamento vengono utilizzati diaframmi continui impermeabili (in c.a., plastici, in jet-grouting etc.) sia taglioni realizzati con materiale impermeabile (Figura 4).

Poiché l'argine in terra è soggetto a fenomeni di filtrazione, i pendii, sia verso la cassa che verso il fiume, devono essere progettati con pendenze tali da contenere all'interno dell'argine la linea di saturazione del moto di filtrazione.

Per un argine classico di contenimento di un fiume le pendenze sono circa contenute tra 1:2 e 1:3 verso il fiume e 1:2 verso la campagna con banche che interrompono la scarpata. La pendenza lato campagna può essere più dolce perché la direzione del moto di filtrazione avviene esclusivamente dal fiume verso la campagna.

Nel caso di argini di contenimento di una cassa di espansione il moto di filtrazione avviene dalla cassa verso campagna ma anche in maniera bidirezionale, per ciò che concerne le porzioni di argine compresi tra cassa e fiume e tra cassa e cassa. La progettazione deve quindi tenere conto di queste condizioni, provvedendo a ridurre la pendenza lungo le due direzioni o valutando attentamente la dimensione delle opere di difesa.

Poiché le arginature sono considerate costruzioni fortemente impattanti, per ragioni estetiche la pendenza del lato campagna, se la morfologia del terreno lo consente, può essere molto più ridotta di quella indicata, raggiungendo anche il valore di 1:10. Ciò consente un raccordo più graduale e naturale col paesaggio circostante.

La tabella seguente riassume le pendenze minime consigliate a seconda della funzione dell'arginatura.

Tabella 1

Argine fiume-cassa	1:2-1:3	1:2-1:3
	lato fiume	lato cassa
Argine cassa-campagna	1:2-1:3	1:2-1:10
	lato cassa	lato campagna
Argine interno	1:2-1:3	1:2-1:3
	lato cassa	lato cassa

In fase di progetto è di primaria importanza lo studio del reticolo di flusso ed il relativo calcolo delle pressioni neutrali che si verificano sia nel corpo arginale che nel terreno di fondazione.

L'eccesso di pressioni neutrali sul lato campagna può dare origine infatti a fenomeni di sifonamento con asporto di materiale, fino alla creazione dei cosiddetti fontanazzi. Questo fenomeno si manifesta in modo particolare nei terreni di fondazione formati da strati di materiali incoerenti permeabili e particolarmente in quelli a granulometria più sottile (sabbie e limi).

Lo studio del moto di filtrazione può essere condotto sia utilizzando metodi empirici sia attraverso l'utilizzo del reticolo di flusso preventivamente individuato.

Un metodo empirico molto usato per questa analisi consiste nel tracciare un andamento plausibile della superficie di falda assegnando ad essa una pendenza pari ad 1:5 - 1:6. La condizione al contorno è data dal livello idrico prodotto dalla portata di piena di progetto (Figura 5-a).

La rappresentazione del reticolo di flusso richiede la conoscenza dei valori di permeabilità orizzontale e verticale, per tenere conto dell'anisotropia del materiale costituente l'argine, le condizioni al contorno, nonché la disponibilità di opportuni codici di calcolo (Figura 6 e 7).

Studi specifici hanno mostrato come i metodi basati sull'ipotesi di stazionarietà del moto di filtrazione possano essere eccessivamente cautelativi, in quanto la permanenza di elevati livelli sia nell'alveo che nelle casse è in genere modesta rispetto al tempo di propagazione della corrente filtrante all'interno dell'argine.

Una valutazione più aderente al reale andamento del fenomeno, richiederebbe quindi l'individuazione dell'andamento nel tempo della superficie libera in condizioni di moto vario. In Figura 5-b viene presentata la soluzione relativa al riempimento di un ammasso poroso asciutto, indefinitamente esteso verso valle, con fondo orizzontale impermeabile e paramento di monte verticale, nell'ipotesi che il livello del fiume passi istantaneamente da 0 al valore y di piena, mentre nella Figura 5-c è mostrato l'andamento nel tempo della linea di saturazione per un argine del Po sia in condizioni di moto stazionario che in quelle di moto vario che si determinano col passaggio di una piena assegnata. Per quest'ultimo caso sono stati considerati diversi valori del coefficiente di permeabilità.

Per ragioni di cautela i calcoli di moto vario devono essere effettuati considerando eventi di piena sufficientemente lunghi ma realistici e i valori più elevati delle permeabilità dei terreni costituenti l'argine, determinati con le prove geotecniche.

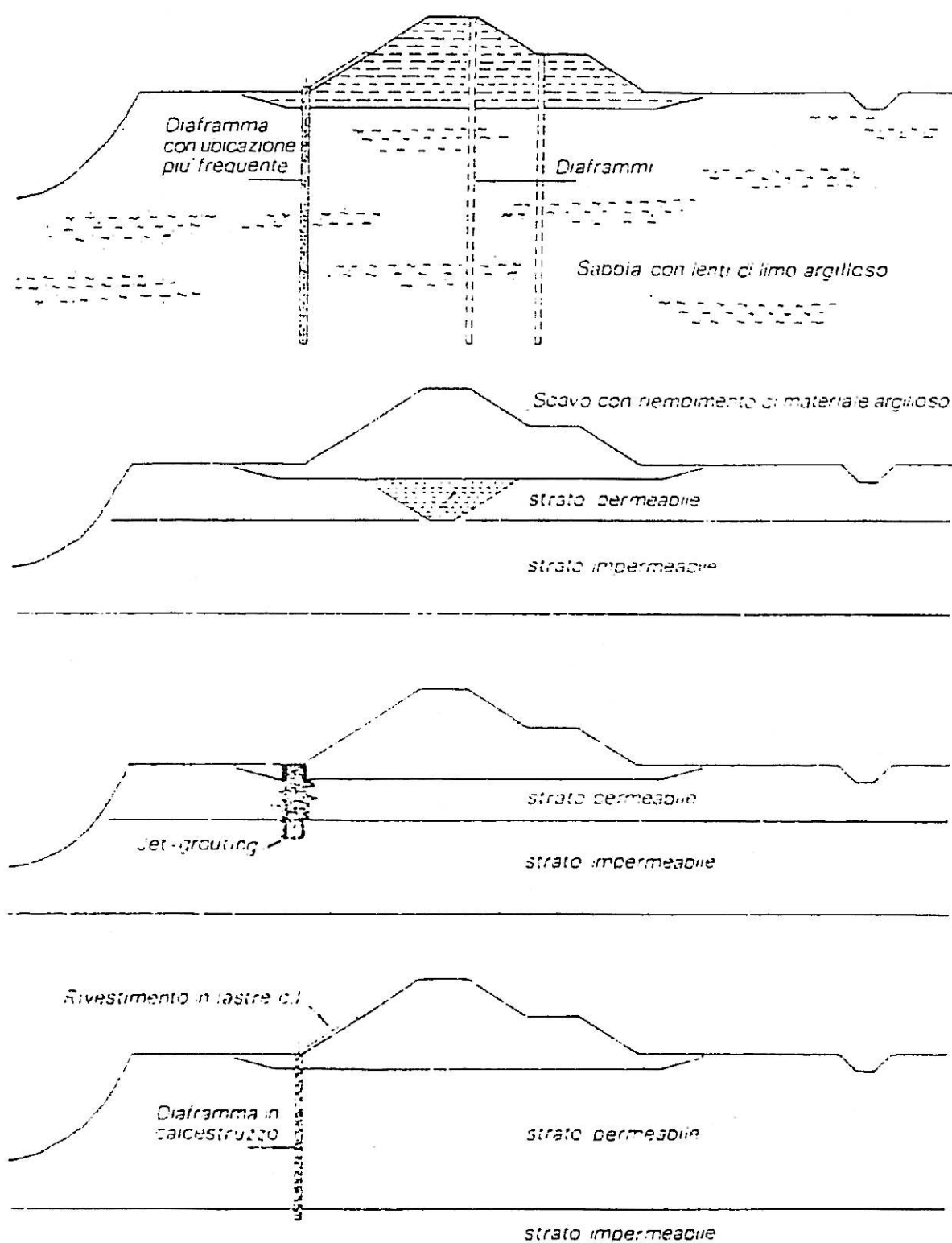


Figura 4 Collocamento di diaframmi e taglioni

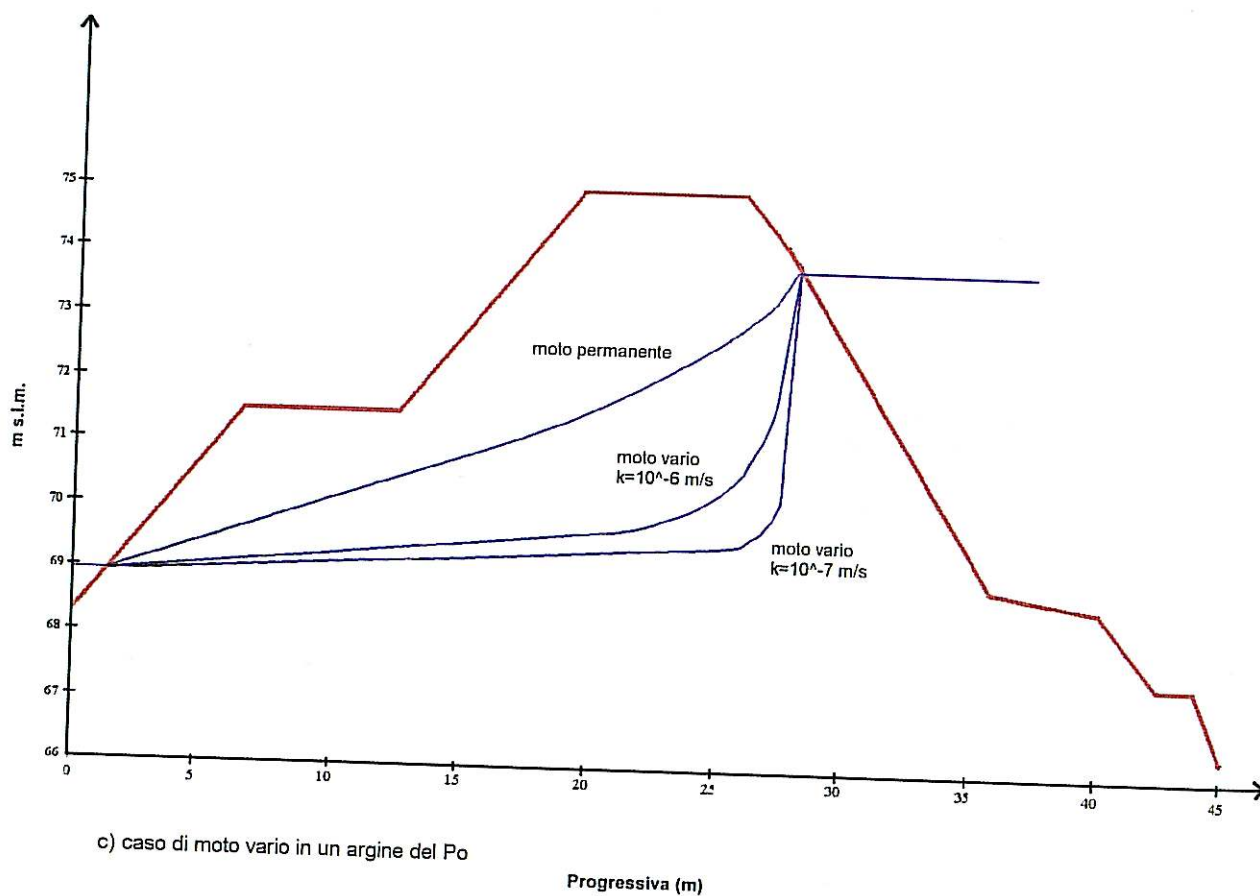
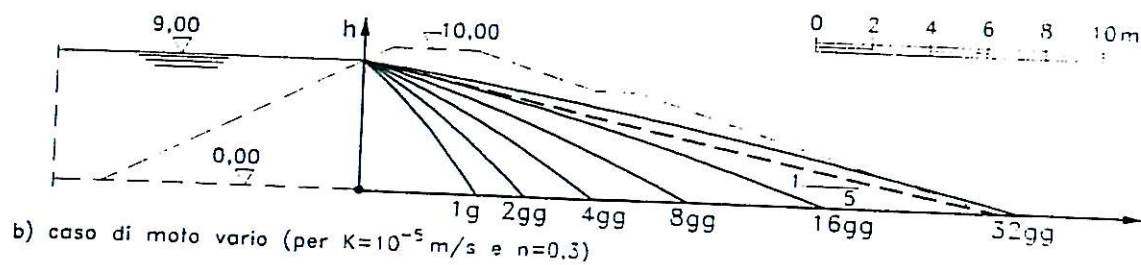
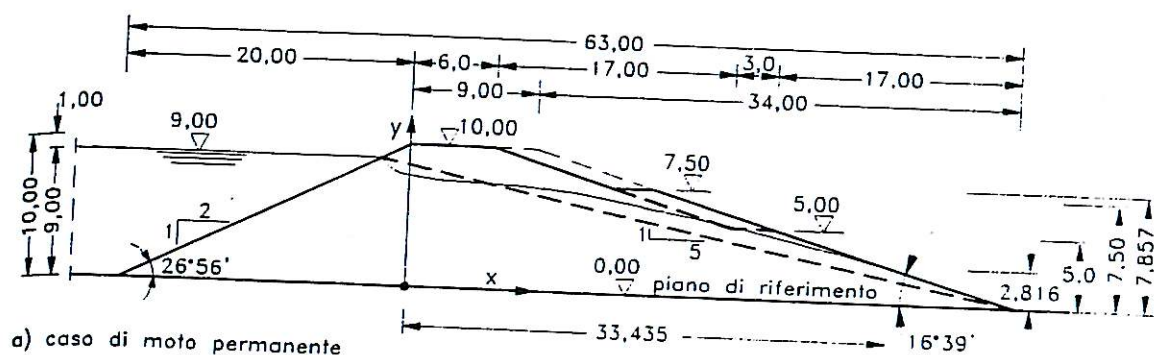


Figura 5 Esempi di andamento della superficie di falda all'interno di un'arginatura.

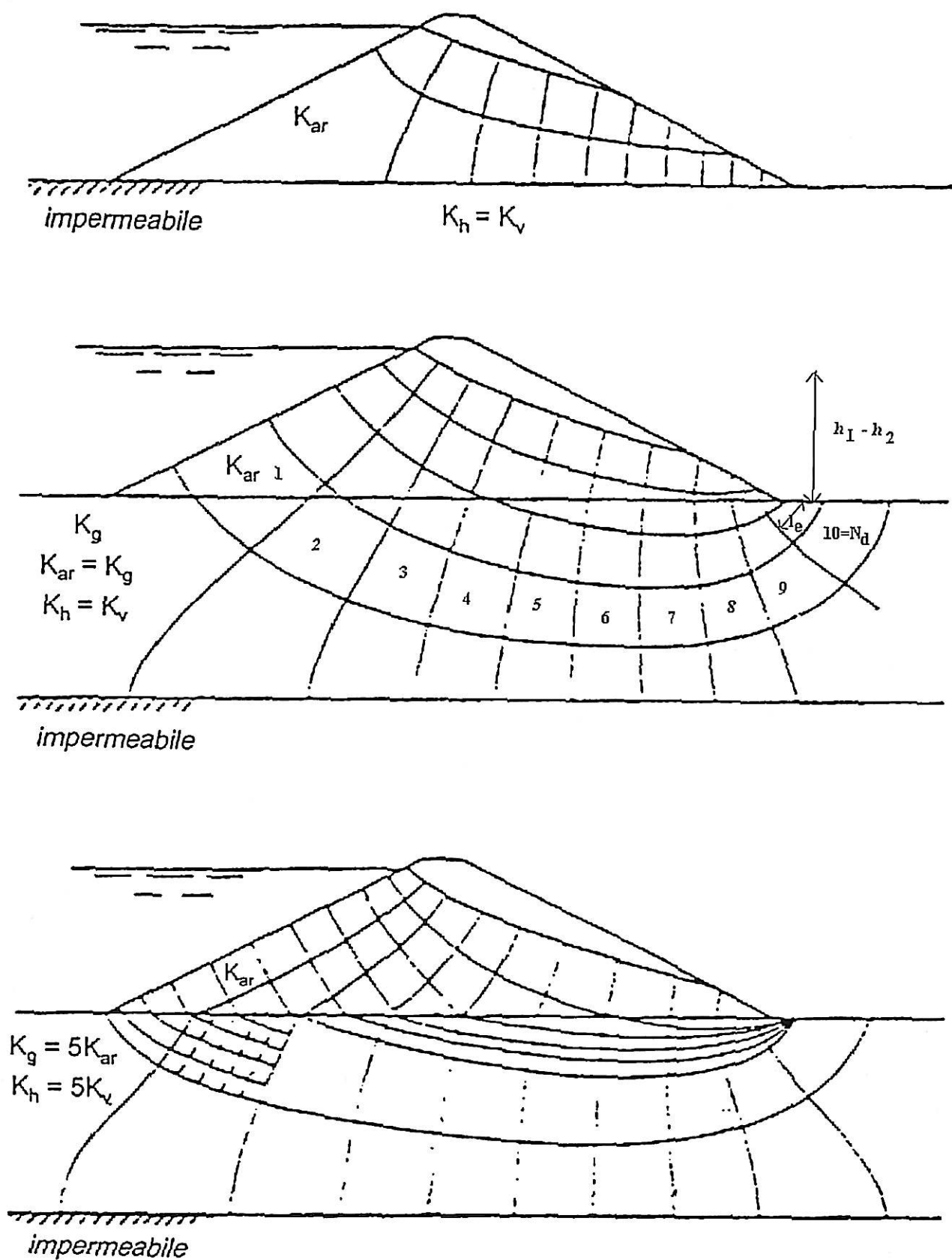


Figura 6 Rappresentazione del reticolo di flusso all'interno di un'arginatura (Colleselli, 1998)

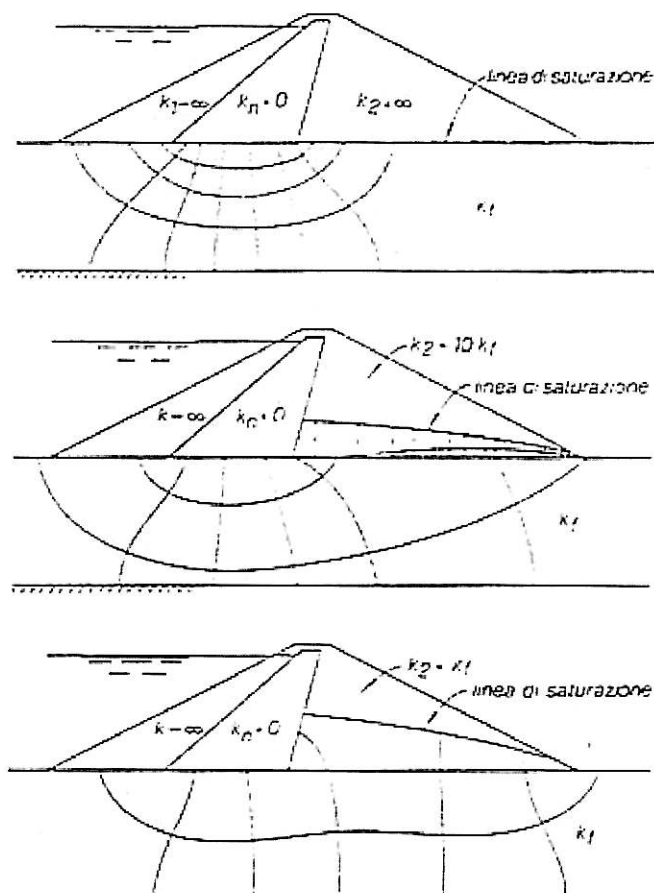


Figura 7 Rappresentazione reticolo di flusso all'interno di un'arginatura (Colombo P., Simonini P., 1994)

Per la verifica al sifonamento si possono utilizzare sia metodi speditivi che metodi più complessi che consistono nel calcolare un fattore di sicurezza preventivamente definito.

Un metodo semplice comunemente usato, per il calcolo del fattore di sicurezza, è definito dalla seguente relazione:

$$Fs = \frac{L}{h_1 - h_2} \quad \text{(Bligh)} \quad (1)$$

dove L è il percorso più breve che l'acqua deve compiere attraverso il terreno di fondazione (negli argini è la lunghezza della base dell'argine) ed $h_1 - h_2$ è la differenza delle quote del pelo libero a monte e a valle dell'argine.

Per garantire l'assenza del fenomeno di sifonamento, il fattore di sicurezza deve risultare superiore ad un valore di soglia F^* dipendente dalla tipologia del terreno (v. Tabella 1).

Tabella 1

TERRENO	F^*
Sabbia molto fine o limo	18
Sabbia fine	15
Sabbia e ghiaia	12
Ciottoli misti a sabbia	9-15
Ciottoli	4

Questa formula è stata migliorata dal Lane, il quale ha osservato che per una generica opera interessata da fenomeni di filtrazione la resistenza al moto è molto minore lungo il contatto tra la base (orizzontale) della costruzione ed il terreno, che lungo gli altri contatti tra le strutture verticali ed il terreno. Il percorso che produce quindi il massimo rischio di sifonamento è rappresentato dal contorno dell'opera, inserito nel mezzo poroso, opportunamente pesato. In particolare i tratti orizzontali o inclinati di un angolo minore o uguale a 45° hanno peso $1/3$, i tratti verticali o inclinati di più di 45° hanno peso 1. In base a questi concetti, l'espressione (1) viene ad essere così modificata:

$$Fs = \frac{\frac{1}{3}L_h + L_v}{h_1 - h_2} \quad (\text{Lane}) \quad (2)$$

I valori di F^* raccomandati in questo caso sono:

Tabella 2

TERRENO	F^*
Sabbia molto fine o limo	8,5
Sabbia fine	7
Sabbia media	6
Sabbia grossa	5
Ghiaia fine	4
Ghiaia media	3,5
Ghiaia grossa con ciottoli	3
Massi con ciottoli e ghiaia	4

Se si ha a disposizione il reticolo di filtrazione, la verifica al sifonamento può essere effettuata utilizzando la seguente formula:

$$i_e = \frac{h_1 - h_2}{l_e N_d} < i_s \quad (3)$$

dove i_e è il gradiente idraulico in uscita dall'ultimo elemento quadrangolare subito a valle del corpo arginale, l_e è la lunghezza del lato, N_d è il numero di elementi che costituiscono i tubi di flusso in cui si può pensare suddiviso il campo di moto e lungo ciascuno dei quali la perdita di carico totale è pari a $h_1 - h_2$. Lungo ciascun elemento quadrangolare la perdita di carico è ovviamente pari a $\frac{h_1 - h_2}{N_d}$ (Figura 6).

Detto i_s il gradiente idraulico in uscita massimo ammissibile, per la verifica al sifonamento deve risultare $i_s < 1$; nel caso di incrementi di carico improvvisi, può essere usata la seguente tabella:

Tabella 3

MATERIALE	i_s
Ciottoli	$1/4 \div 1/5$
Sabbia grossa	$1/5 \div 1/6$
Sabbia fine	$1/6 \div 1/7$

Se la verifica a sifonamento risulta negativa è necessario prevedere la disposizione di diaframmi a bassa permeabilità per minimizzare il processo di filtrazione (nel caso in cui l'argine raggiunga uno strato di terreno impermeabile) o di allungare quanto più possibile il percorso dell'acqua (Figura 4).

I diaframmi possono essere collocati in varie posizioni all'interno del corpo arginale.

La diaframmatatura posta in corrispondenza dell'unghia dell'argine sul lato fiume dà i maggiori vantaggi in quanto protegge il pendio dai rischi dovuti alle continue variazioni di imbibizione e di pressione dovute alla variazione dei livelli.

La diaframmatatura posta a partire dal coronamento dell'argine è più agevole da realizzare ma comporta profondità molto maggiori dovendo attraversare tutto il corpo arginale prima di raggiungere il terreno di fondazione.

La diaframmatatura posta in corrispondenza dell'unghia dell'argine lato campagna consente la protezione più efficace nei confronti del pendio lato campagna.

I diaframmi permettono una riduzione significativa della portata solo se prossimi allo strato impermeabile. Si può infatti osservare dalla Figura 8 come solo per rapporti di s/T maggiori di 0,9, dove s è la lunghezza del diaframma e T è lo spessore dello strato impermeabile, si ottiene una riduzione significativa della portata di filtrazione

Essi danno notevoli vantaggi invece in termini di aumento di perdita di carico a causa del maggior percorso che l'acqua deve compiere.

Per il calcolo del fattore di sicurezza in presenza di diaframma con l'espressione (3) è necessario disegnare il reticolo di flusso.

Allorché un condotto (ad esempio lo scarico di fondo) attraversi l'arginatura, è necessario disporre un diaframma in corrispondenza dell'imbocco. La discontinuità determinata del condotto costituisce infatti una direzione preferenziale per le linee di filtrazione, venendo con ciò a costituire un notevole peggioramento del rischio di sifonamento.

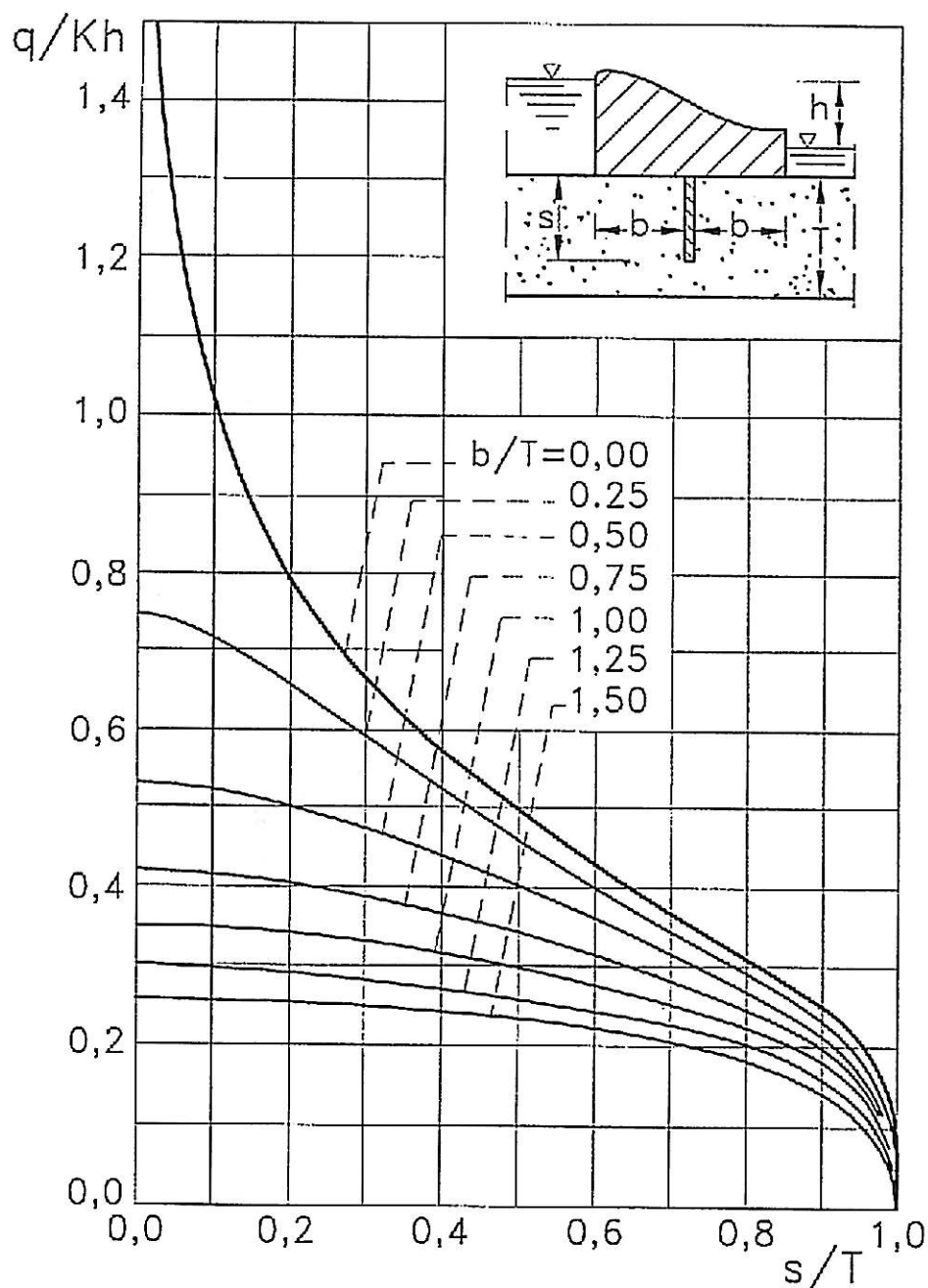


Figura 8 Andamento della portata specifica in funzione della profondità del diaframma.

I problemi riguardanti i moti di filtrazione, la stabilità ed i fenomeni di erosione della corrente, richiedono spesso la necessità di costruire idonee opere di difesa dei pendii.

Le soluzioni più frequentemente adottate sono: muri in cemento armato, muri in gabbioni, scogliere in massi.

Per ciò che concerne le opere a scogliera esistono vari metodi per il calcolo del diametro caratteristico dei massi da mettere in posa. Nella tabella seguente (Figura 9) vengono riassunti i principali metodi che si basano sulla velocità della corrente, sulla tensione tangenziale al contorno, che dà luogo al movimento dei materiali lapidei e sulle caratteristiche idrauliche e geometriche delle sezioni di deflusso.

$$V_{crit} = 4.5 - 5 \cdot \sqrt{D} \quad (D \text{ in m, } V \text{ in m/s), (vecchie relazioni, inizio secolo)}$$

$$D_c = C_1 \cdot \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right) \cdot \frac{V_s^2}{2 \cdot g} \quad \text{ISBASH, 1935}$$

V_s = velocità corrente

D_c = diametro caratteristico

C_1 = (1.35 massi isolati, 0.69 massi in scogliera)

$$\tau^* = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot D_c} \quad \text{SHIELDS, 1936}$$

τ = tensione tangenziale al contorno che dà luogo al movimento della particella

$\tau^* = 0.047 \div 0.06$

$$\tau = \gamma_w \cdot d \cdot S_e \quad \text{ANDERSON et alii, 1970}$$

d = profondità corrente

S_e = pendenza del gradiente di energia

$$\tau = \frac{\rho V^2}{\left(5.75 \cdot \log \frac{11.1 \cdot d}{K_s} \right)^2} \quad \text{KEULEGAN, 1938} \quad \text{STEVENS e SIMONS, 1976}$$

V = velocità media

K_s = scabrezza equivalente del grano ($2 \div 3 D_{90} - 3 \cdot 6 D_{50}$)

$$\tau = \frac{C \cdot \rho \cdot V^2}{\left(\frac{d}{D_c} \right)^{1/3}} \quad \text{equazione di MANNING-STRICKLER}$$

$$\frac{\gamma_w \cdot V^2}{g \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot D_c} = 2.5 \cdot \left(\frac{D_c}{d} \right)^{-0.2} \quad \text{NEILL, 1967}$$

$$\frac{D_c}{d} = C \cdot \left[\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)^{1/2} \cdot \frac{V}{\sqrt{g \cdot d}} \right]^{2.5} \quad \text{PILARCZYK, 1987}$$

$$D_{30} = S_f \cdot C_s \cdot C_v \cdot C_T \cdot d \cdot \left[\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)^{1/2} \cdot \frac{V}{\sqrt{K_1 \cdot g \cdot d}} \right]^{2.5} \quad \text{US Corps of Engineers, 1991}$$

S_f = coeff. di sicurezza (1.1 min)

C_s = coeff. di stabilità per rottura iniziale (spessore $1.0 D_{100}$ o $1.5 D_{50}$, maggiore $D_{85}/D_{15} = 1.7 \div 5.2$) 0.3 roccia spigolosa - 0.375 roccia arrotondata

C_v = coeff. di distribuzione delle velocità (1.0 interno alle curve - $1.283 - 0.2 \log R/W$ esterno delle curve)

C_T = coeff. di spessore della copertura

K_1 = fattore di correzione della pendenza della scarpata

d = profondità locale (20% al di sopra del piede della scarpata)

(River, Coastal and Shoreline Protection: Erosion Control using Riprap and Armourstone, THORNE et alii, 1995)

Figura 9 (Colleselli, F., 1998)

La valutazione dell'inizio del moto incipiente dei massi posti sulle sponde dell'alveo può essere fatta attraverso l'imposizione dell'equilibrio tra le forze che tendono a spostare il generico masso e le forze che invece tendono ad opporsi a tale movimento. La relazione che in tal modo si ottiene ha la seguente forma:

$$\frac{u_*^2}{g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d} = f\left(\frac{du_*}{v}\right) k \quad (4)$$

Dove u_* è la velocità di attrito

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} \quad (5)$$

con τ_o sforzo tangenziale massimo sulle sponde, ρ_s densità del materiale costituente il masso, ρ densità dell'acqua, d diametro del masso, $f\left(\frac{du_*}{v}\right)$ parametro di Shields e k è un coefficiente correttivo definito dalla seguente relazione:

$$k = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}} \quad (6)$$

dove α è l'angolo di inclinazione della sponda, φ è l'angolo d'attrito del materiale e τ_o è esprimibile secondo la relazione:

$$\tau_o = \xi \gamma y i \quad (7)$$

con y livello idrico nell'alveo, i pendenza dell'alveo e ξ è un parametro che dipende dal rapporto b/y , dalla forma dell'alveo e dall'inclinazione delle sponde (Figura 10).

Per il calcolo del diametro ottimale si procede per via iterativa. Una volta noti la portata di progetto, e la geometria dell'alveo si procede nel seguente modo:

- 1) si tenta un valore del diametro d ;
- 2) si calcola il parametro ξ con il grafico riportato in Figura 8;
- 3) si determina la velocità d'attrito secondo la (5);
- 4) si determina il numero di Reynolds $\frac{du_*}{v}$;
- 5) utilizzando il diagramma di Shields (Figura 11) si determina il parametro di mobilità critico, ovvero la quantità a sinistra dell'equazione (4);
- 6) Si calcola il nuovo valore del diametro d .

Se i due diametri differiscono, si ripete la procedura con un secondo diametro di tentativo prossimo a quello ottenuto al punto 6.

In via di prima approssimazione, in pratica del tutto soddisfacente dal punto di vista pratico, si assume per il parametro di Shields il valore 0,05, considerando all'incirca il regime puramente turbolento qual è quello che nella totalità dei casi si verifica negli alvei naturali in piena.

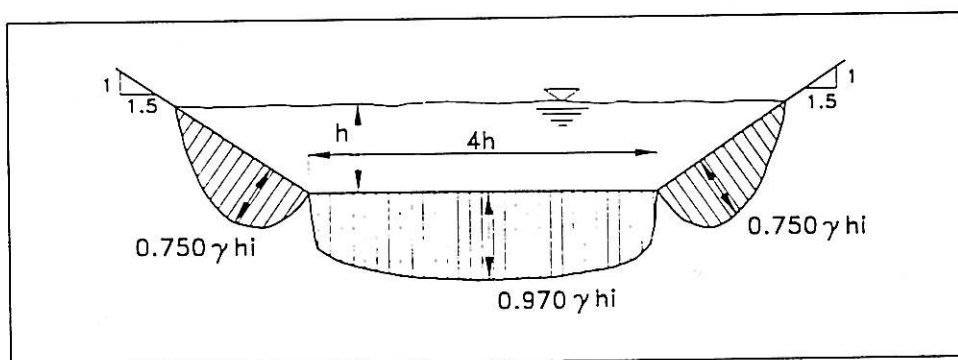
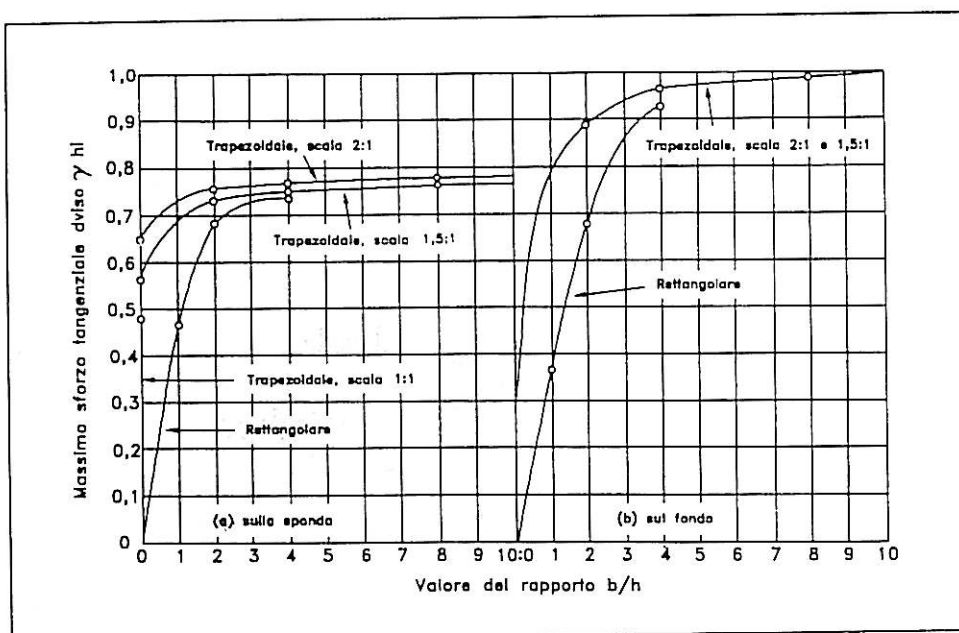


Figura 10 Massimi sforzi tangenziali sul fondo di una sezione trapezia e andamento degli sforzi tangenziali lungo il fondo di una sezione trapezia (Armanini, 1995)

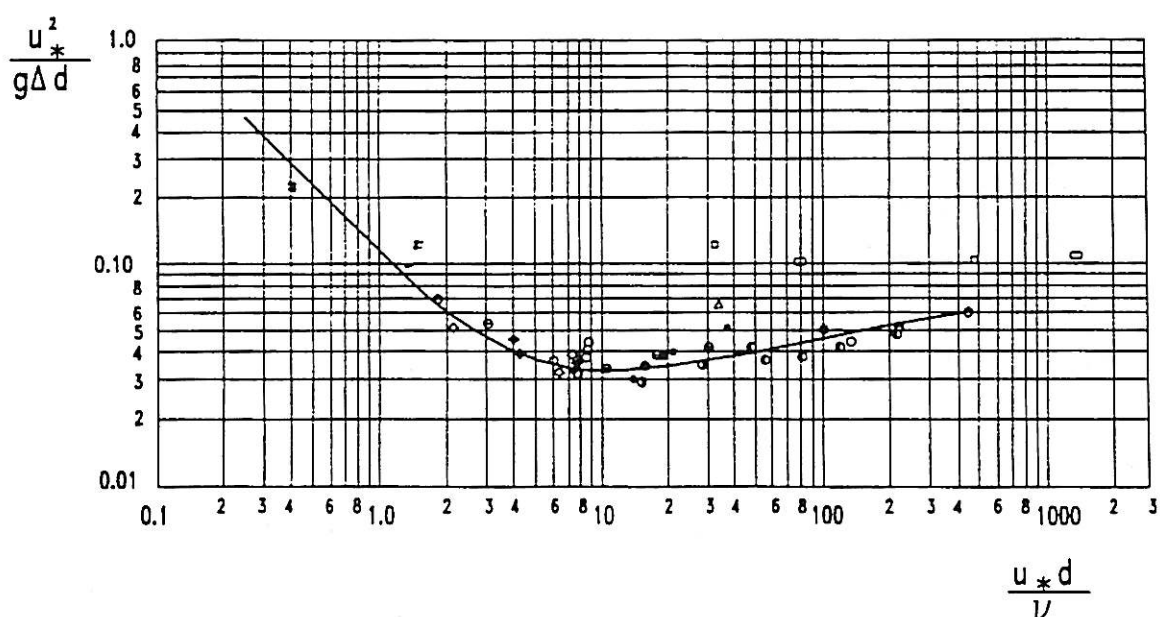


Figura 11 Diagramma di Shields (Armanini, 1995)

4. Il franco di progetto

Nella pratica progettuale il franco si considera di un metro per i fiumi più importanti e di 0,8 metri per gli altri fiumi. Questa considerazione è valida sia per l'arginatura collocata tra la cassa e l'alveo sia per le eventuali ulteriori arginature collocate tra la cassa e la campagna.

In alcune situazioni può risultare più prudente fare una valutazione statistica del franco di progetto. In questo caso è necessario innanzi tutto calcolare la varianza di stima della variabile y del livello idrico in alveo.

Tale valutazione viene fatta approssimando al primo ordine l'espansione in serie di Taylor intorno al valore medio l'equazione:

$$y = f(Q, K_s, i) \quad (8)$$

Ritenendo valida l'equazione di Chezy

$$Q = K_s R(y)^{\frac{1}{6}} A_b(y) \sqrt{R(y) i} \quad (9)$$

e sotto l'ipotesi che le variabili da cui y dipende siano mutuamente indipendenti, si può scrivere la formula della propagazione della varianza nel seguente modo:

$$\sigma_y^2 = \frac{\partial y}{\partial Q} \sigma_Q^2 + \frac{\partial y}{\partial K_s} \sigma_{K_s}^2 + \frac{\partial y}{\partial i} \sigma_i^2 \quad (10)$$

Ad esempio se si considerano, così come appare logico, variabili aleatorie la portata di progetto $Q(T)$ e il coefficiente di Strickler K_s , la varianza di y è pari a:

$$\sigma_y = \frac{CV_q^2 + CV_{K_s}^2}{\left(\frac{2}{3 \cdot R} \cdot \frac{dR}{dy} + \frac{1}{A} \cdot \frac{dA}{dy} \right)^2} \quad (11)$$

Dove CV_q e CV_{K_s} sono i coefficienti di variazione delle variabili $Q(T)$ e K_s .

Una volta stimata la varianza di y è possibile calcolare il franco F tenendo conto del rischio di esondazione residuo che si intende tollerare per l'arginatura progettata.

La valutazione del rischio consiste nel calcolo della probabilità di superamento della grandezza:

$$X = y + F \quad (12)$$

Se si ipotizza che le oscillazioni del livello rispetto al valore y siano distribuite secondo una legge di Gauss, la valutazione del rischio si ottiene attraverso la relazione:

$$R = 1 - \int p_y(X) \cdot dy \quad (13)$$

Dove $p_y(X)$ è la densità di probabilità della distribuzione normale. Dalla stessa relazione si può quindi ricavare il valore del franco di progetto che riduce il rischio di esondazione al valore richiesto.

5. *Verifiche di stabilità a fine costruzione, a serbatoio pieno con livello di massimo invaso e a seguito di rapido svuotamento della cassa.*

Le verifiche di stabilità condotte con i metodi tradizionali dell'equilibrio limite prevedono a fine costruzione un coefficiente di sicurezza minimo pari a 1,2, a serbatoio pieno pari a 1,4 e a seguito di rapido svuotamento pari a 1,2 come indicato al punto H5 del D.M. 24/3/82. Per raggiungere tali coefficienti di sicurezza il paramento interno dell'argine di tenuta deve essere progettato con una pendenza di circa 1:3, mentre quella verso campagna con una pendenza di circa 1:2. La sezione di progetto risulta quindi simile a quella delle dighe.

Ovviamente la scelta delle pendenze di progetto dei paramenti dipende dai tempi previsti di permanenza dell'invaso o dello svaso e dalla valutazione delle potenziali condizioni di pericolo che si possono creare a valle dell'opera.

6. *Monitoraggio delle arginature e dei terreni di fondazione (piezometri, assestimetri, inclinometri etc.) durante la costruzione ed in esercizio.*

Il monitoraggio delle arginature viene svolto essenzialmente con la posa in opera di piezometri. Assestimetri superficiali e profondi ed inclinometri vanno invece previsti per arginature realizzate su terreni compressibili (Figure 12 e 13).

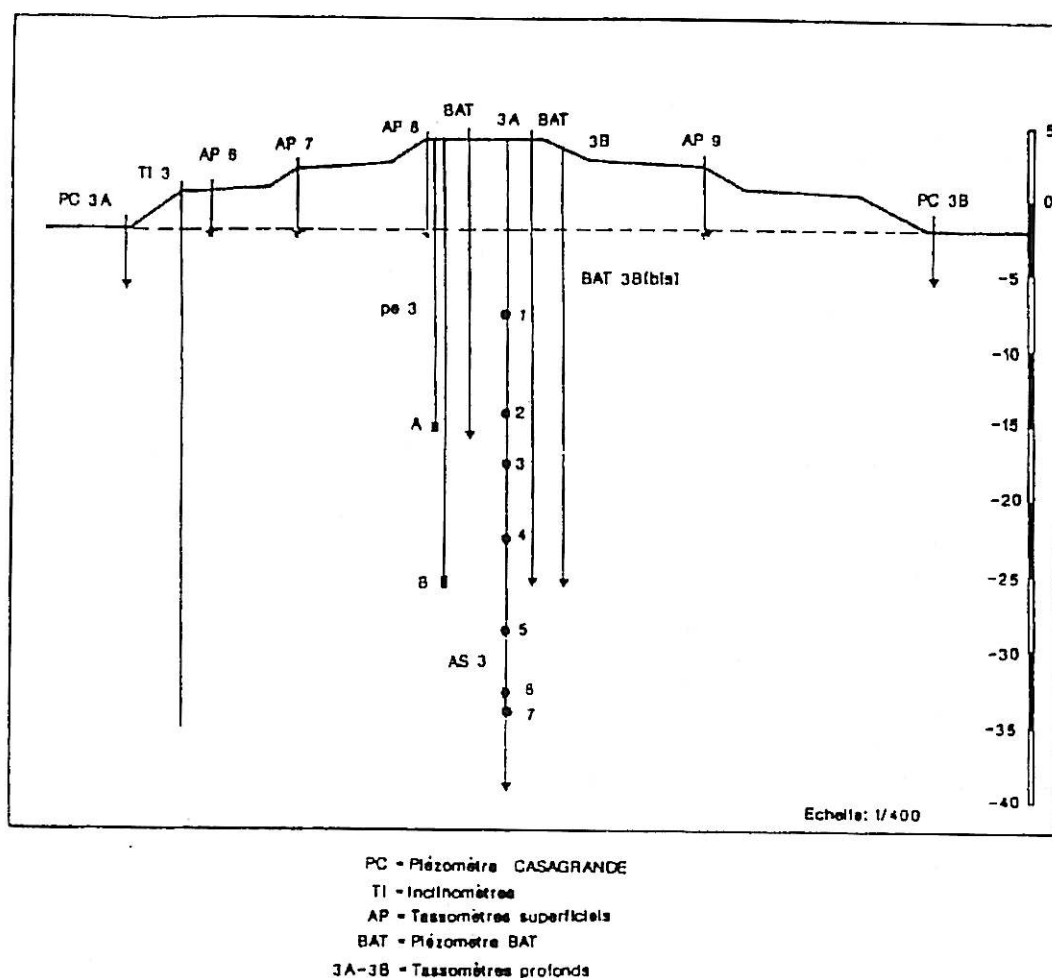


Figura 12 (A.I.P.C.N., 1990)

PARAMETRES METHODES	RENSEIGNEMENTS GENERAUX SUR LA GEOLOGIE	PROFONDEUR DU SUBSTRATUM	LITHOLOGIE	FAILLES, TASSEMENTS	PROPRIETES DYNAMIQUES DU SOL	MASSE VOLUMIQUE	CAVITES	POROSITE	PERMEABILITE	TEMPERATURE	ECOULEMENTS DE L'EAU (vitesse et direction)
SISMQUES :											
REFRACTION	3	3	2	2.3	3	1.2	0.1	0	0	0	0
REFLEXION	3	3	2.3	2.3	2.3	1.2	1	0	0	0	0
GEOELECTRI- QUES :											
RESISTIVITE	2.3	3	2.3	1.2	0	0	1.2	2.3	0.1	0	1.2
POTENTIEL NATUREL	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	3
GEORADAR	2	2	1.2	2	0	1	2.3	2.3	2.3	0	2
MAGNETISME	1.2	0	0	1.2	0	0	1	0	0	0	0
SISMIQUE ACCOUSTIQUE	0	0	0	2.3	1.2	1	0	0	0	0	1.2
MICRO- GRAVIMETRIE	0.1	0.1	0	1	0	2.3	3	1	0	0	0
MESURES A L'INTERIEUR DES FORAGES											
γ	1.2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
$n \cdot \gamma$	2.3	3	3	0	0	1.2	0	3	2.3	0	0
$\gamma \cdot \gamma$	2.3	3	3	0	0	2.3	1.2	3	1.2	0	0
Calibre-log	3	3	2.3	3	0	1.2	3	1	0	0	0
TEMPERATURE	2	2	0	0	0	1	1	0	1	3	2
POTENTIEL NAT	1.2	1	1	0	0	1	1	2	2.3	0	3

LEGENDE :

0- non applicable

1- applicable de manière limitée

2- bien applicable

3- très bien applicable

γ sonde à rayons γ

$n \cdot \gamma$ sonde à neutrons et rayons γ

$\gamma \cdot \gamma$ sonde $\gamma \gamma$

calibre-log: mesure des variations de la dimension \varnothing d'un forage et log

Figura 13 (A.I.P.C.N.,1990)

7. Prove di tenuta idraulica a fine costruzione e periodicamente durante l'esercizio.

Queste prove sono previste al punto I del D.M. 24/3/1982 e devono essere eseguite per le casse di espansione di maggior importanza ovvero per quelle collocate sull'asta principale.

8. Verifiche di stabilità e provvedimenti particolari nel caso le arginature ricadano in zona sismica.

Per quanto riguarda tali verifiche si può fare riferimento a quanto contenuto al punto H6 del D.M. 24/3/82 che indica in tutte le situazioni un coefficiente di sicurezza minimo inferiore a 1,2.

Riferimenti bibliografici

- A.I.P.C.N., *Surveillance et controle des endiguements lateraux de grande longueur*, Supplement au Bulletin n. 69, Bruxelles, 1990.
- Armanini e A. Scotton P., *Criteri di dimensionamento e di verifica delle stabilizzazioni di alveo e di sponda con massi sciolti e massi legati* in *Moderni Criteri di sistemazione degli alvei fluviali*, U. Maione A. Brath eds., Editoriale BIOS, Cosenza (1998).
- Cazzuffi D. *L'impiego dei geosintetici nella sistemazione naturalistica dei corsi d'acqua*. U. Maione, A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 7-11 ottobre 1996. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Colleselli F., *Introduzione ai problemi geotecnici relativi alle arginature e sponde di fiumi e di canali*, da *Problemi geotecnici relativi alle arginature ed alle sponde di fiumi e di canali*, CISM, Udine, (1994).
- Colleselli F., *Arginature fluviali e difese spondali: criteri di progetto, problemi idraulici e strutturali*, da *La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati*, U. Maione A. Brath eds., Editoriale BIOS, Cosenza, (1998).
- Colombo P. e Simonini P., *Stabilità degli argini e delle sponde di fiumi e canali*, da *Problemi geotecnici relativi alle arginature ed alle sponde di fiumi e di canali*, CISM, Udine, (1994).
- Da Deppo L., Datei C. e Salandin P., *Sistemazioni dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, (1997).
- Da Deppo L., *Diaframmi arginali*, da *La difesa idraulica del territorio*, U. Maione A. Brath eds., Editoriale BIOS, Cosenza, (1997).
- Gibelli M.G., Meucci D., Oggionni F., Palmeri F., Vallone F. *Quaderni di ingegneria naturalistica. Sistemazioni in ambito fluviale*. Il verde editoriale, Varese (1995).
- Passoni G. *Aspetti idraulici delle opere di ingegneria naturalistica*. In *Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali*. U. Maione A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 10-14 ottobre 1994. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Roland Schweitzer. *Metodi di ingegneria naturalistica lungo i corsi d'acqua*. In *Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali*. U. Maione A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 10-14 ottobre 1994. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Sanguanini P. *Progettazione, realizzazione e manutenzione delle arginature del fiume Po*. In *La difesa idraulica del territorio*. U. Maione, A. Brath editors. Atti del corso di aggiornamento. 7-11 ottobre 1996, Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Sauli G. *Tecniche di ingegneria naturalistica nelle sistemazioni dei corsi d'acqua*. In *La difesa idraulica del territorio*. U. Maione, A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 7-11 ottobre 1996. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Schiechtl H.M. - Stern. *Ingegneria naturalistica*. Manuale delle opere idrauliche Il verde editoriale, Varese (1998).
- Schiechtl H.M., *Bioingegneria Forestale*. Biotecnica naturalistica, Edizioni Castaldi, Feltre (BL) (1991).
- Schiechtl H.M., *I salici nell'uso pratico*. Edizioni L'Arca, Gardolo (TN). (1995).
- Zeh H. *Tecniche di ingegneria naturalistica*. Il verde editoriale, Varese (1997).

CAPITOLO 6

OPERE DI ALIMENTAZIONE E SCARICO

1. Premessa

Uno degli aspetti più importanti nella progettazione di una cassa di espansione è rappresentato dalla definizione delle modalità di scambio delle portate tra corso d'acqua e bacino durante la piena. Nella sostanza si tratta di fissare le leggi tramite le quali, sotto opportune condizioni, i livelli in alveo determinano il flusso dei volumi dell'onda di piena verso la cassa e la successiva restituzione degli stessi al fiume nella fase calante del fenomeno.

Questi scambi idrici si ottengono tramite opere di alimentazione e di scarico, solitamente costituite da luci a battente o a stramazzo, il cui funzionamento è inquadrabile in schemi di facile interpretazione teorica. Sugli affluenti vengono privilegiate soluzioni nelle quali l'intervento di organi di regolazione di tipo elettromeccanico o manuale sia ridotto al minimo o sia del tutto assente: il rischio di malfunzionamento o di una regolazione errata o intempestiva di tali organi può difatti risultare assai critico, specialmente nei bacini più piccoli ove i tempi di formazione delle piene sono ridotti, e conseguentemente risultare insufficienti per impostare con sicurezza interventi di emergenza. Al contrario sull'asta principale può essere prevista la possibilità di dotare i manufatti di alimentazione e scarico di organi mobili.

Salvo alcune eccezioni che verranno discusse nel seguito, il funzionamento idraulico di tali organi si inquadra nello schema di fluido ideale, la cui caratteristica è quella di rendere possibile la individuazione di affidabili relazioni biunivoche tra livelli idrici h e portate effluenti:

$$Q = f(h) \quad (1)$$

Tali relazioni dipendono dal tipo di processo idraulico che caratterizza il funzionamento del dispositivo e, in linea generale, può essere riferito alle due seguenti schematizzazioni: conservativo e dissipativo. Il primo di tali schemi verrà trattato nel seguito.

I processi conservativi sono quelli che si hanno nelle luci libere nelle quali il moto dell'acqua avviene in pratica senza dissipazioni energetiche: a monte dell'opera il fluido, dotato di velocità relativamente modeste, viene progressivamente accelerato, nel *richiamo* verso la luce prima e successivamente nel passaggio attraverso la stessa, con un processo nel quale l'energia posseduta dalla corrente si conserva praticamente per intero. Il teorema di Bernoulli e, più in generale, la dinamica dei fluidi ideali, costituiscono lo strumento principe per determinare le relative leggi di moto. Gli schemi considerati in queste linee guida sono quelli del moto attraverso luci *a battente*, *a stramazzo* o loro combinazioni.

Per l'alimentazione delle casse *in derivazione* si ricorre generalmente a sfioratori laterali ricavati per lo più abbassando e sagomando il ciglio arginale. I manufatti di scarico sono sovente progettati come luci a stramazzo in parete grossa, o a battente; in quest'ultimo caso è talvolta necessario il ricorso a uno o più tombini per sottopassare la cintura arginale. Nelle casse *a settori*, si usano in generale stramazzi in parete grossa per mettere in comunicazione due moduli tra di loro, consentendo lo scarico di quello più a monte verso quello più a valle. Altri sistemi di alimentazione delle casse in derivazione sono i sifoni, usati recentemente in Francia per opere di notevole rilevanza sul Reno, o manufatti che attraversano l'argine regolati da paratoie. Nelle casse in linea, un solo manufatto, in genere una briglia o una traversa, provvede a determinare il rigur-

gito della corrente verso monte, provocando l'entrata in funzione della luce di alimentazione e quindi il riempimento della cassa durante la fase di crescita dell'onda di piena. Si utilizzano, in genere, luci a stramazzo opportunamente sagomate, luci a battente e, assai spesso, una combinazione delle due.

Nei dispositivi idraulici appena citati la portata defluente aumenta all'aumentare del carico. Questa circostanza, specie nelle casse in linea, riduce l'efficienza dell'opera. Infatti, come si visto in precedenza, la situazione ideale di funzionamento di una cassa sarebbe quella di lasciare defluire liberamente le portate inferiori a quella di progetto e, a partire dal momento in cui l'onda di piena raggiunge tale valore, bloccare l'ulteriore aumento della portata (capitolo 1 figura 10). Per ottenere ciò si ricorre a dispositivi misti, formati da luci che funzionano a stramazzo con tiranti idrici modesti per passare successivamente in pressione e funzionare quindi a battente. La contrazione della vena impone, difatti, una riduzione pressoché immediata nella portata, cui fa seguito una crescita relativamente più lenta della stessa in quanto, per quest'ultimo tipo di luce, la portata risulta in funzione della radice quadrata anziché della potenza a $3/2$ del carico. Questo effetto si può ottenere anche con luci a stramazzo con larghezza moderatamente decrescente verso l'alto.

Dispositivi alternativi sono briglie *a maschera* formate da un sistema di luci tra loro intercomunicanti. Lo scarico delle portate, per tiranti idrici modesti, funziona usualmente a stramazzo prima e a battente poi (o in alternativa secondo lo schema a tombino). Il manufatto è realizzato in maniera che, all'ulteriore crescere del livello a monte, la portata effluente attraverso la luce, viene posta in comunicazione entro un'apposita camera con quella derivata attraverso un condotto il cui imbocco è collocato a quota superiore. La dissipazione energetica che ne deriva comporta un forte riduzione del tasso di crescita della legge di efflusso che, in taluni casi può risultare addirittura negativo. Sebbene il funzionamento di queste ultime opere sia sostanzialmente semplice, è necessario verificarne il funzionamento col ricorso a prove su modello fisico tramite le quali si può giungere alla definizione pressoché esatta della legge di efflusso.

Un'ulteriore tecnica consiste nel modificare la scala di deflusso delle luci rigurgitandole da valle oltre un determinato valore della portata. Se le luci sono impostate, ad esempio, in un'opera trasversale, ciò si ottiene disponendo a valle una serie di ostacoli che "rincollano" la corrente sul piano della luce: in queste condizioni il carico non è rappresentato più dal livello idrico di monte misurato rispetto al baricentro della luce ma dalla differenza tra questo e il livello idrico di valle.

2. Tipologie e schemi di calcolo

2.1 Casse di espansione in linea

Il funzionamento della cassa è in generale governato da un'unica luce attraverso cui avviene l'alimentazione nella fase di crescita della piena e il successivo scarico in quella di esaurimento per la quale può essere definita in modo affidabile la legge di efflusso. Le tipologie che si utilizzano sono le seguenti:

- 1 *restringimento di sezione*, realizzato ostacolando il flusso della corrente tramite barre artificiali, eventualmente sommergibili al transito di eventi estremi, da realizzarsi preferibilmente con sistemi ecocompatibili, per esempio, con gabbioni rinverditi con talee e astoni o con massi ciclopici (Brath A., Maione U., 1997). La forma complessiva dell'opera si avvicina a quella di un misuratore a risalto o canale *Venturi*. Il calcolo idraulico della strozzatura viene svolto considerando che, per portate superiori a un valore di soglia, il restringimento determina il passaggio della corrente attraverso lo stato critico. La teoria è mostrata nello schema di calcolo #9. La forma della strozzatura può essere rettangolare o, per ottenere rendimenti supe-

riori, di sezione moderatamente decrescente verso l'alto (Marchi e Rubatta, 1996; Datei e Da Deppo, 1994); (figura 1).

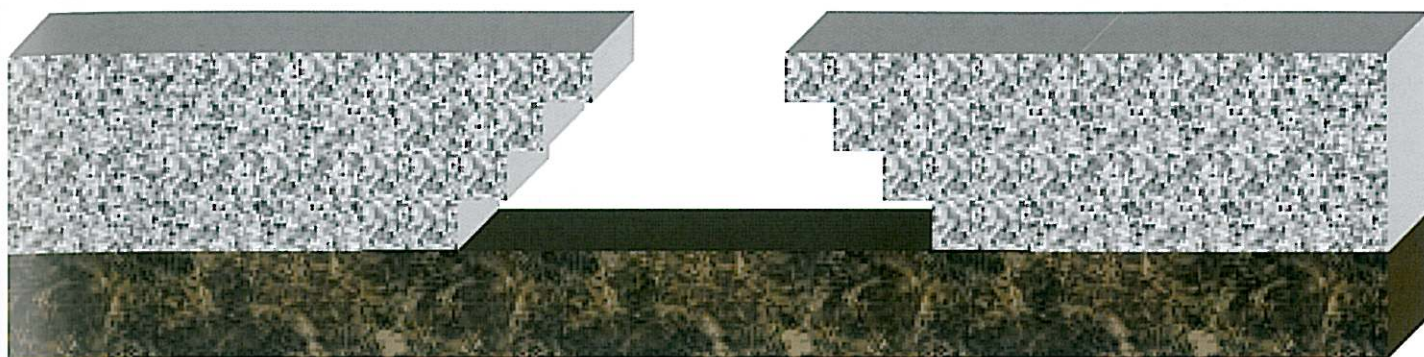


Figura 1 Schema di restringimento decrescente verso l'alto

2 *Briglia a bocca tarata funzionante come stramazzo non rigurgitato*. Si tratta di un'opera trasversale, realizzata, se possibile, come la precedente, in gabbioni rinverditi o, con altre tecniche di ingegneria naturalistica. Nella briglia è praticata una finestra o *gàveta*, aperta superiormente, che consente lo smaltimento delle portate di piena fino a un prefinito valore di progetto oltre il quale l'opera viene tracimata per tutta la sua lunghezza. La quota della soglia, ove possibile, deve essere tenuta convenientemente più alta di quella dell'alveo che segue immediatamente a valle l'opera. Con questa disposizione la legge di efflusso è quella dello stramazzo in parete grossa non rigurgitato. Per migliorare il rendimento dell'opera, anche in questo caso come per il precedente, la forma della *gàveta*, generalmente trapezoidale, può avere larghezza moderatamente decrescente verso l'alto. La progettazione idraulica riguarda la dimensione della *gàveta*: se la sezione è di forma rettangolare si utilizza lo schema di calcolo #1 o in forma semplificata lo schema #2 ponendo l'inclinazione delle sponde a pari a 0° ; se la sezione è di forma trapezia si adotta lo schema #2 con α variabile (Da Deppo L. 1997); (figura 2).

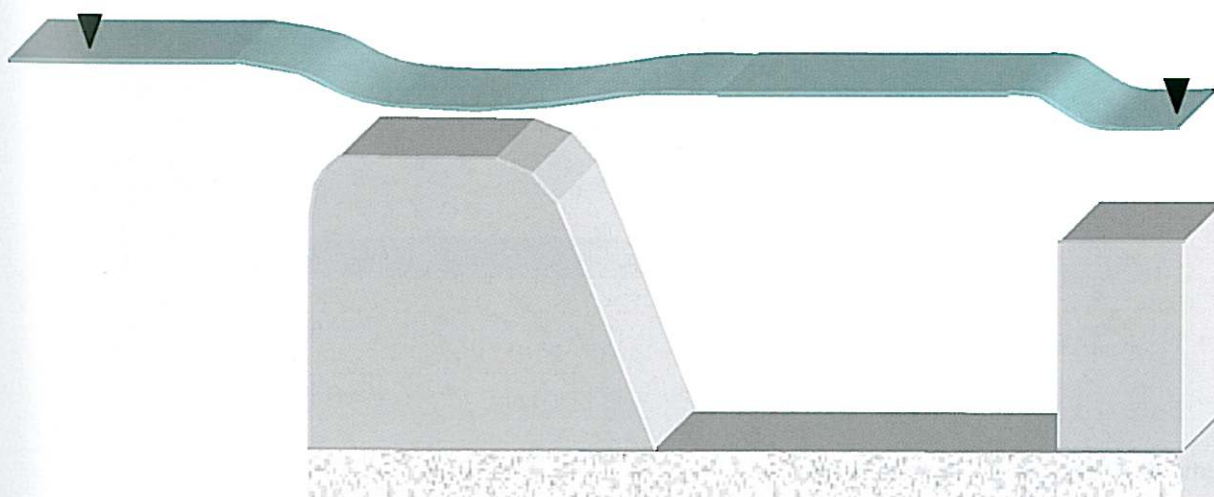


Figura 2 Schema di briglia a bocca tarata con inclinazione delle sponde a maggiore di 0

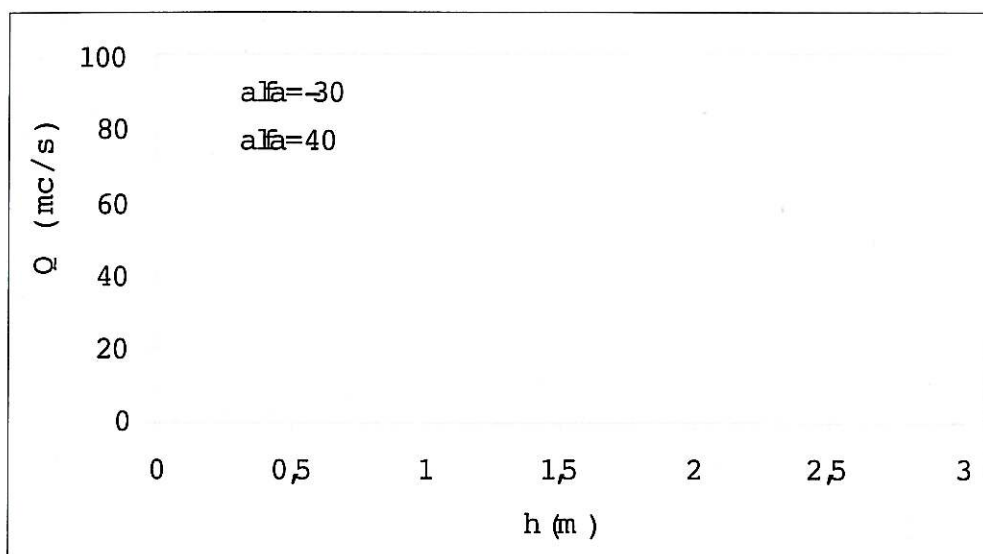


Figura 3 Andamento della legge di efflusso al variare dell'angolo di inclinazione delle sponde

3 *Briglia a bocca tarata funzionante come stramazzo rigurgitato.* La soglia della traversa o la *gàveta* della briglia, in corrispondenza dei più elevati valori di portata vengono rigurgitate da valle determinando una brusca riduzione del tasso di incremento con il carico della portata smaltita. Per ottenere questo tipo di funzionamento a valle dell'opera deve essere opportunamente dimensionata la vasca di dissipazione che, per portate superiori ad un valore di soglia, determini il funzionamento rigurgitato dello stramazzo. Il calcolo idraulico viene svolto secondo lo schema #4 (figura 4).

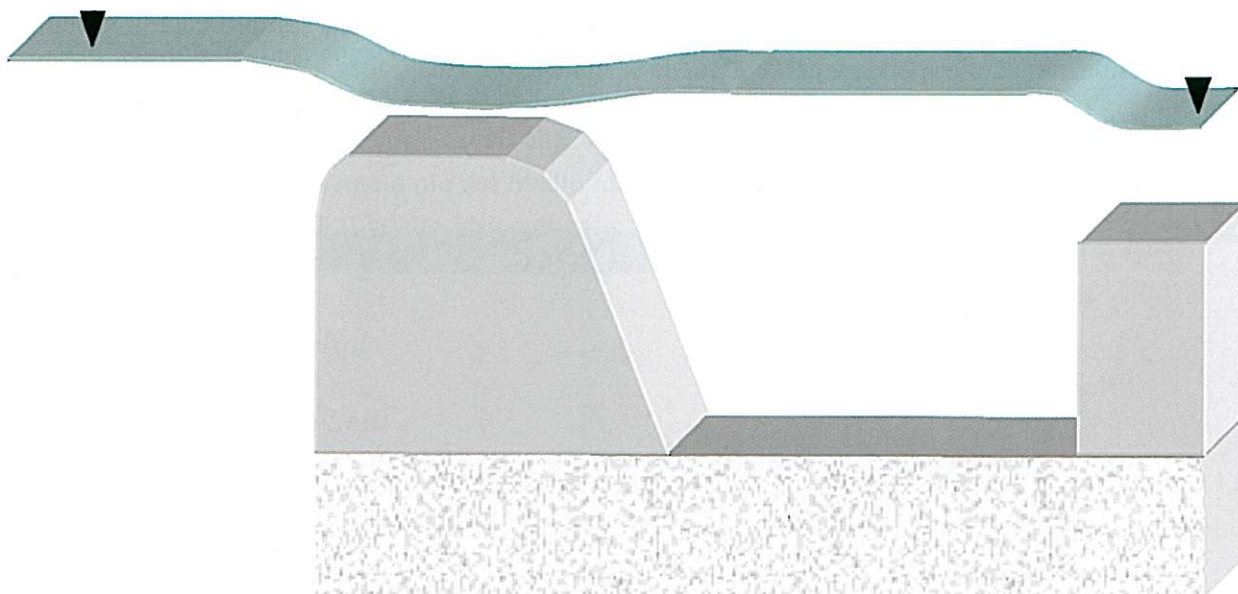


Figura 4 Schema di briglia a bocca tarata rigurgitata

4 *Briglia a bocca tarata con funzionamento misto.*

L'opera trasversale presenta una luce che funziona secondo lo schema a tombino per le portate più basse. Per portate eccezionali, oltre il limite superiore del valore massimo di progetto, l'opera viene tracimata ed il funzionamento diviene misto a stramazzo e a tombino. La scala di deflusso presenta andamenti diversi in

funzione del livello idrico di monte. È possibile prevedere il funzionamento rigurgitato progettando opportunamente la vasca di dissipazione di valle. Il calcolo idraulico può essere effettuato secondo i seguenti schemi:

- livello idrico al di sotto ed al di sopra del bordo superiore della luce: funzionamento a tombino, schema di calcolo #10;
- tracimazione dell'opera e funzionamento a stramazzo: schemi #1 o #2

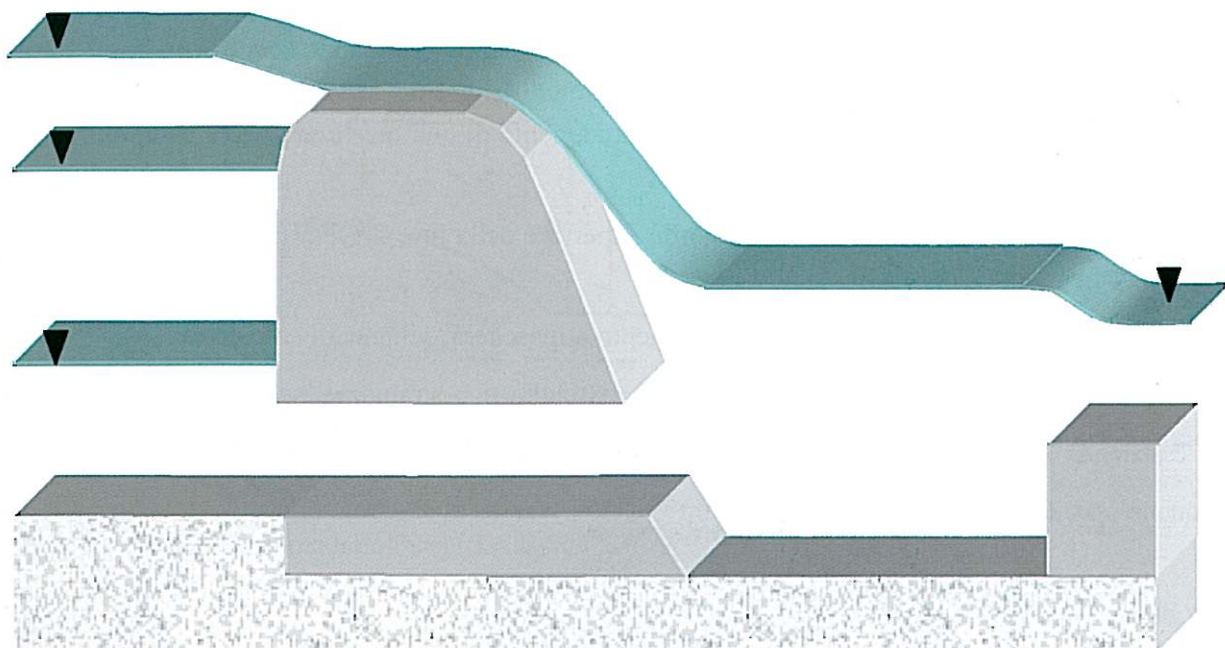


Figura 5 Schema di funzionamento misto stramazzo-battente con eventuale rigurgito della luce

Per i calcoli idraulici relativi alla vasca di dissipazione, si può fare riferimento allo schema #4 (figura 5).

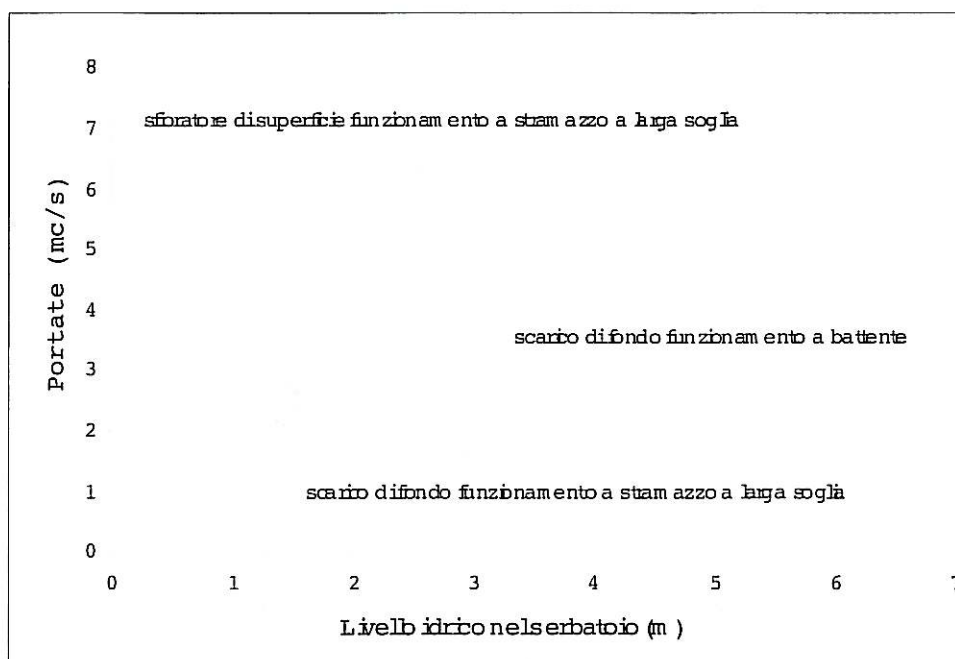


Figura 6 Legge di efflusso per funzionamento misto stramazzo-battente

5. *Briglia a bocca tarata con funzionamento a maschera.* Questo dispositivo rappresenta una evoluzione di quelli prima descritti. Si tratta di una traversa attraversata da una o più tubazioni di forma circolare o, comunque, regolare. Ciascuna di queste luci è connessa idraulicamente a una canna verticale che attraverso una apposita presa è in grado di far defluire attraverso di essa una certa portata quando il livello a monte dell'opera supera una quota prefissata. La dissipazione di energia che si determina nel raccordo a T tra la canna verticale e quella orizzontale provoca una diminuzione nel tasso di crescita della legge di efflusso che, in qualche caso, può risultare addirittura negativo. La luce, o il sistema di luci, segue il funzionamento idraulico già visto al punto precedente. All'aumentare del carico, allorché entra in funzione la "maschera", si riduce notevolmente l'incremento di portata, determinando rendimenti assai significativi per l'opera nel suo complesso. Per portate eccezionali, superiori al valore massimo previsto per il progetto, si ha la tracimazione dell'opera. Nel funzionamento di una luce a maschera sono quindi distinguibili quattro fasi:

- livello idrico al di sotto ed al di sopra del bordo superiore della luce 2 (vedi figura 7): funzionamento a tombino, schema di calcolo #10.
- livello idrico al di sopra della luce 1: funzionamento a maschera, schema di calcolo #8;
- tracimazione dell'opera: funzionamento misto a maschera e a stramazzo schema di calcolo #1 o #2 (Marchi e Rubatta, 1996; Da Deppo L. 1998).

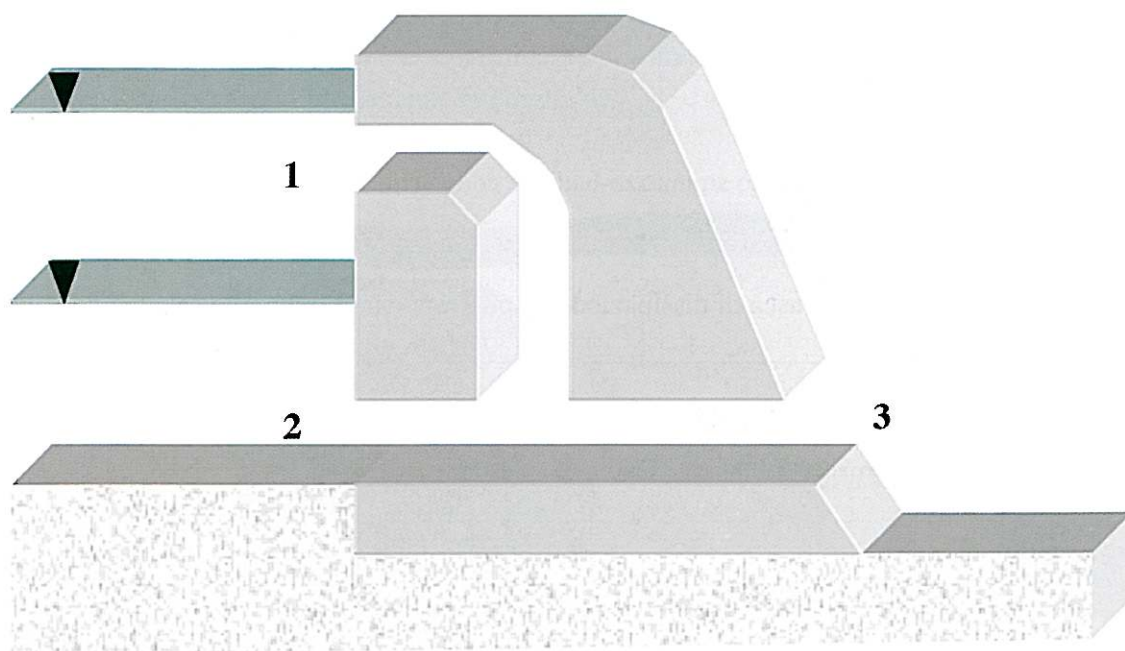


Figura 7 Schema di briglia a maschera

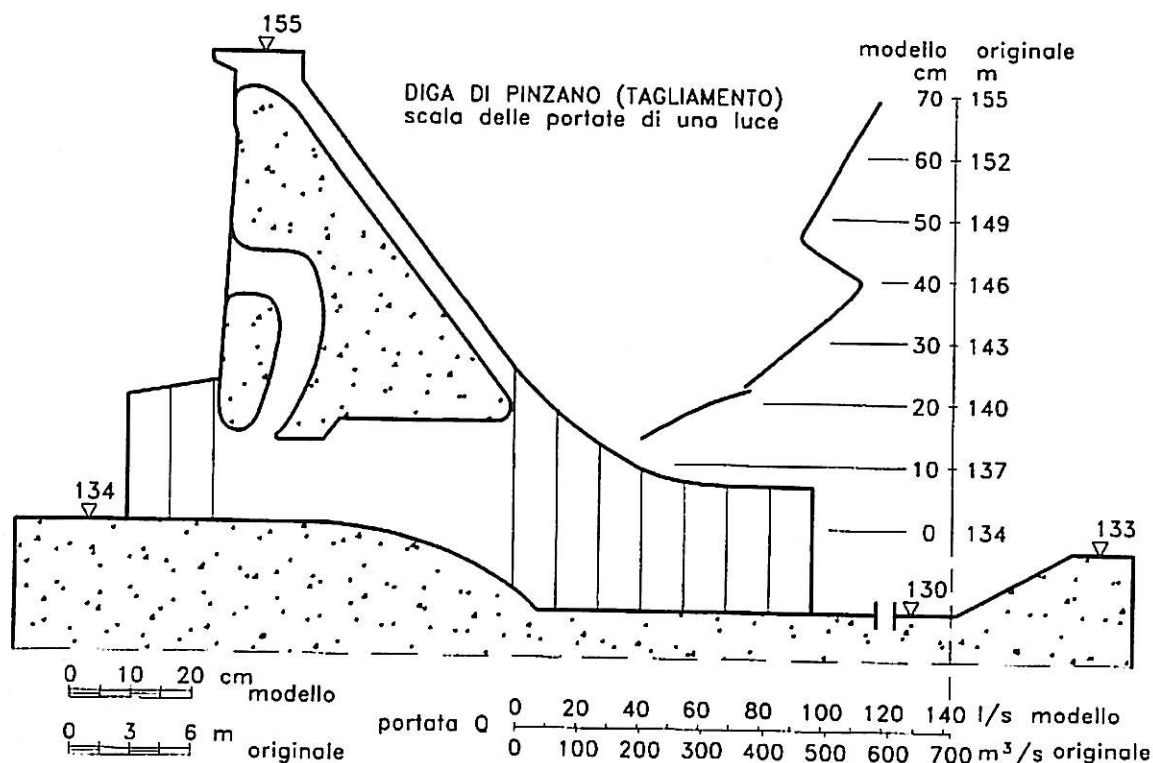


Figura 8 Esempio di organo di scarico a maschera (diga di Pinzano). La scala delle portate è stata ottenuta attraverso sperimentazione su modello fisico (Da Deppo, 1998).

2.2 Casse di espansione in derivazione

Il calcolo idraulico delle casse *in derivazione* riguarda essenzialmente il dimensionamento degli organi di alimentazione e di scarico poiché è proprio la differenza tra le portate defluenti attraverso di essi, istante per istante, che determina il funzionamento dell'opera. L'alimentazione è assai spesso affidata a una soglia sfiorante laterale di forma e larghezza opportune realizzata abbassando per un certo tratto la sommità dell'argine che separa la cassa dall'alveo.

Il dimensionamento idraulico dell'opera richiede innanzitutto di fissare il tirante idrico minimo in corrispondenza del quale la cassa inizia a funzionare; esso è pari, ovviamente, alla quota della soglia sfiorante misurata rispetto al fondo dell'alveo.

Tale quota è da stabilire in base alla natura ed importanza delle problematiche idrauliche dei territori vallivi ed alle proprietà statistiche dei fenomeni di piena.

Come sarà detto più avanti, il funzionamento idraulico della soglia sfiorante è particolarmente efficiente se la corrente nell'alveo principale è lenta. La scala delle portate, viene generalmente calcolata nell'ipotesi che il movimento sia permanente. Per aumentare il carico sulla soglia si dispone un'opera trasversale (ad esempio una briglia, una traversa o un restringimento di sezione) in una sezione posta poco a valle dello sfioratore. Riducendosi, in questo caso, la pendenza dell'alveo a monte, aumenta il tirante idrico a parità di portata. È pertanto necessario verificare la relativa consistenza degli argini esistenti per l'intero sviluppo del profilo di rigurgito determinato dalla presenza dell'opera.

Questo accorgimento rende più affidabile la scala delle portate nell'alveo in quanto la rende meno sen-

sibile alle variazioni dei coefficienti di scabrezza, riducendo quindi la possibilità di errori derivanti da una imperfetta definizione di tali coefficienti.

Nel caso in cui lo sfioratore laterale risulti troppo lungo se ne possono mettere due ad adeguata distanza l'uno dall'altro. In questo modo, non influenzandosi reciprocamente, la lunghezza complessiva dello sfioro risulta inferiore.

Se i due sfioratori sono indipendenti è possibile progettare la lunghezza e trovare le portate sfiorate applicando gli schemi di calcolo prima allo sfioratore più a valle e poi a quello più a monte. La condizione di valle di ognuno è difatti nota priori. In caso contrario la procedura di calcolo deve essere applicata contemporaneamente ad entrambi gli sfioratori, in quanto la condizione di valle dello sfioratore posto più a monte non è conosciuta a priori.

Per aumentare l'efficienza dell'opera può essere utile conferire alla soglia sfiorante andamento leggermente inclinato da monte verso valle in corrente veloce e da valle verso monte in corrente lenta.

Se il fiume presenta pronunciate curvature nella direzione della cassa si può prevedere uno sfioro frontale.

Per opere di una certa importanza allo sfioratore laterale viene data la configurazione di una diga tracciabile sagomata secondo il profilo *Scimemi-Creager* (Contessini, F. 1953; Rozgar B., 1995, Marone V., 1964). La valutazione del relativo coefficiente di efflusso è riportata nello schema di calcolo #1.2. Il procedimento di calcolo dello sfioratore laterale è riportato nello schema di calcolo #12.

Altra soluzione è quella dell'utilizzo di una batteria di sifoni disposti a cavallo dell'argine. Questa soluzione è particolarmente idonea nel caso in cui il fiume abbia pronunciate caratteristiche di pensilità (anche 7, 8 metri) e nel caso in cui risulti conveniente l'inondazione periodica della cassa per motivi naturalistici quali il mantenimento della vegetazione e/o delle zone umide.

Le bocche di ingresso devono essere protette con le barre flottanti per impedire che il materiale galleggiante trasportato dalla corrente venga risucchiato dalle stesse.

Il dimensionamento idraulico dei sifoni viene condotto con lo schema di calcolo #7.

Gli sfioratori possono essere regolati utilizzando paratoie di vario tipo, generalmente a settori. In questo modo è possibile ottenere sia il funzionamento a battente (paratoia parzialmente sollevata) sia quello a stramazzo (paratoia completamente sollevata) (figura 9). Essi possono essere regolati anche tramite manufatti a perdere o fusibili. Si tratta di opere prefabbricate in cemento armato collocate sulla sommità della soglia (figure 10 e 11), intervallate da manufatti di alimentazione muniti di un pozzo di presa interno. Il pozzo è collegato a tubazioni che passano al di sotto dell'opera a perdere (figure 12 e 13). Al verificarsi di un evento di piena l'acqua entra all'interno dell'opera di presa, riempiendola progressivamente. Quando il livello idrico raggiunge la quota del pozzo, l'acqua perviene rapidamente alla camera sottostante l'opera fusibile e, nel momento in cui si raggiunge la saturazione, le sottopressioni che si generano provocano il ribaltamento dell'opera. La quota del pozzo regola quindi l'istante di collasso. Ciò consente di aprire progressivamente la luce dello sfioratore disponendo i pozzi a quote differenti.

La collocazione di più opere a perdere che si ribaltano progressivamente permette di ridurre da una parte gli effetti negativi provocati dall'apertura improvvisa di una luce (vedi capitolo 1 figura 1-c) e dall'altra di ottimizzare il volume disponibile della cassa.

Una soluzione di questo genere è stata adottata per le casse di espansione sul fiume Loira in Francia. Per questioni di impatto ambientale le opere a perdere sono state ricoperte con un manto erboso (figura 14).

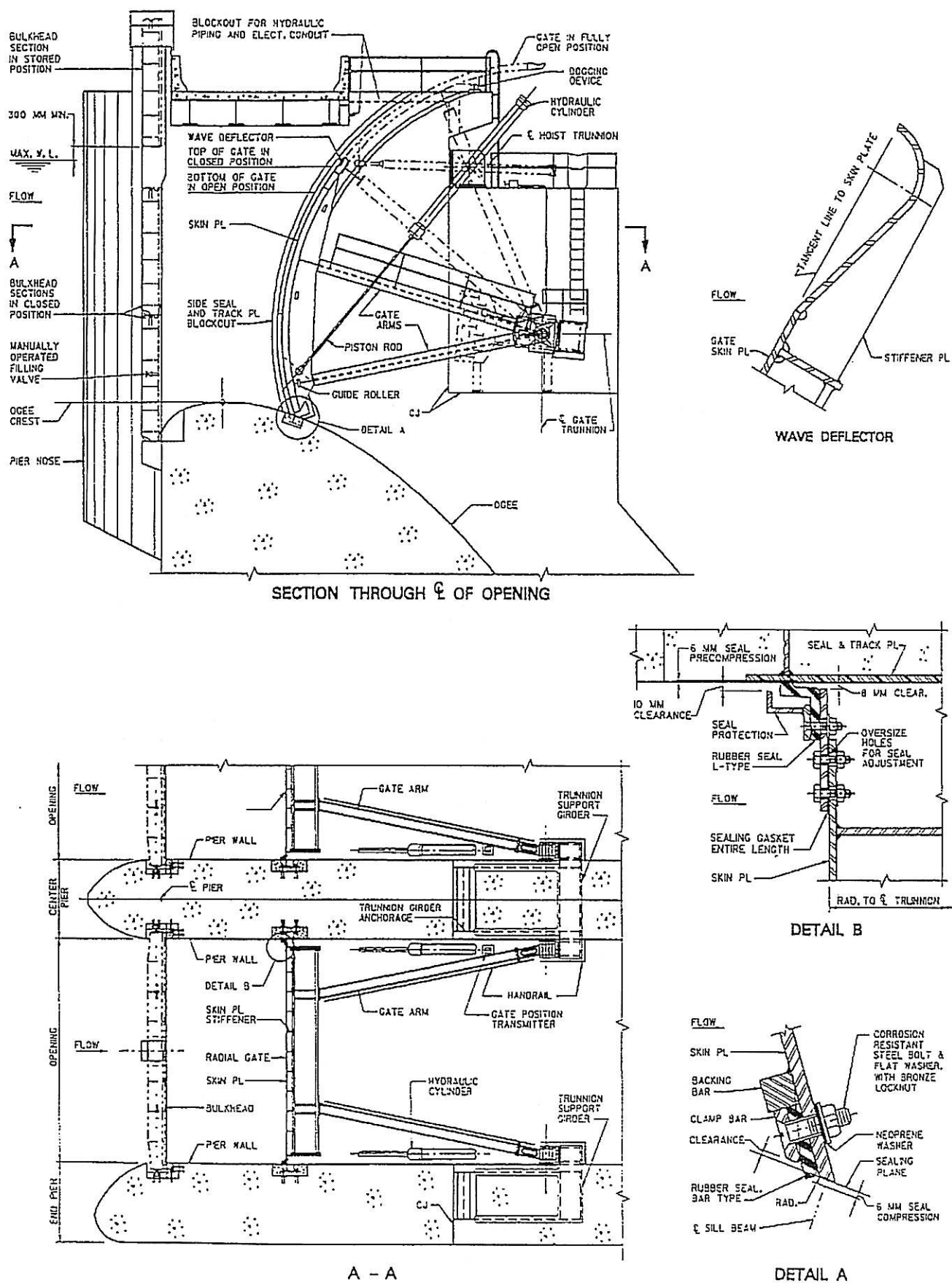


Figura 9 Esempio di paratoia a settore (C. K. Sehgal, 1996)

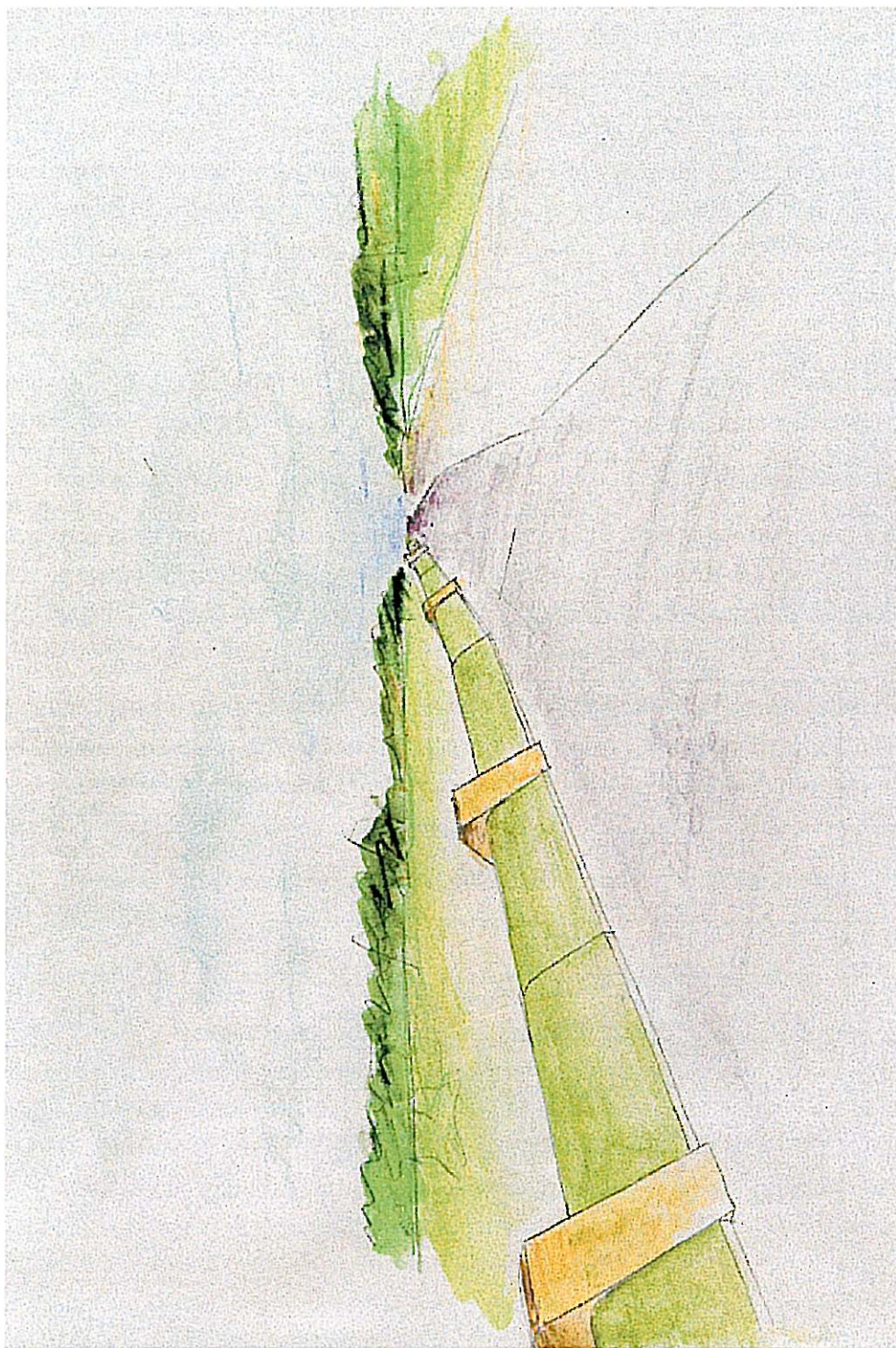


Figura 10 Disegno di opere a perdere e di presa (HYDROPLUS).

VARIANTE 1

0 1 m

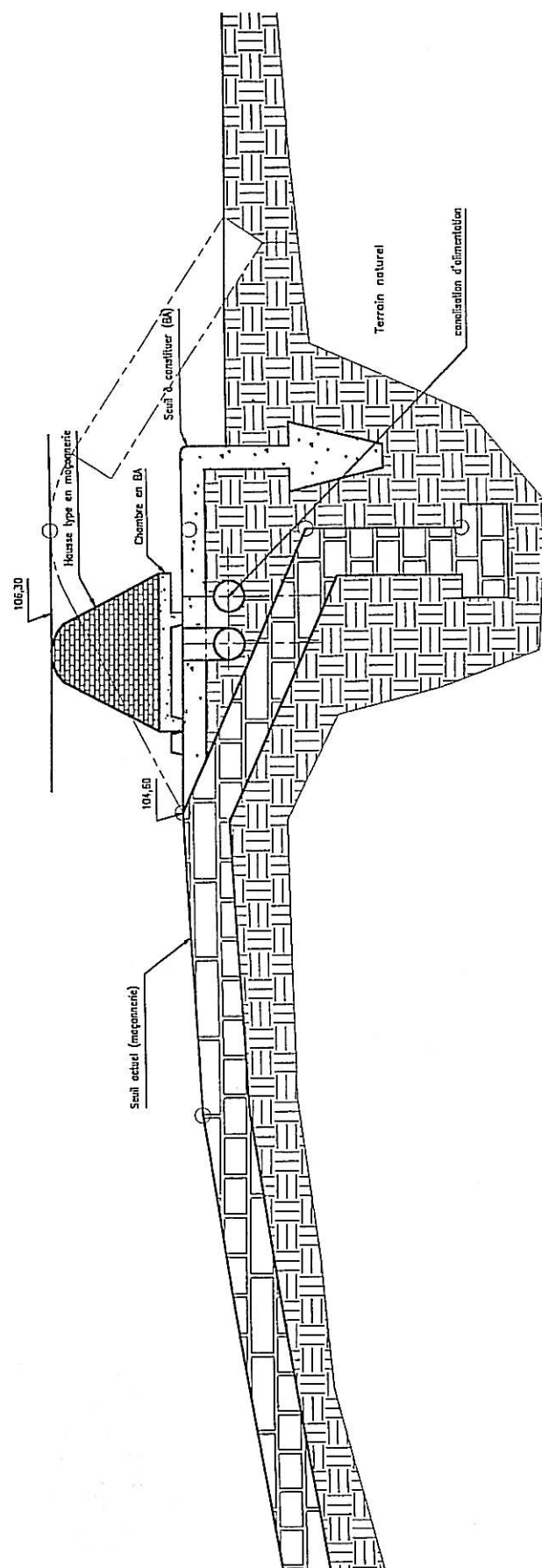


Figura 11 Esempio di opera a perdere (HYDROPLUS)

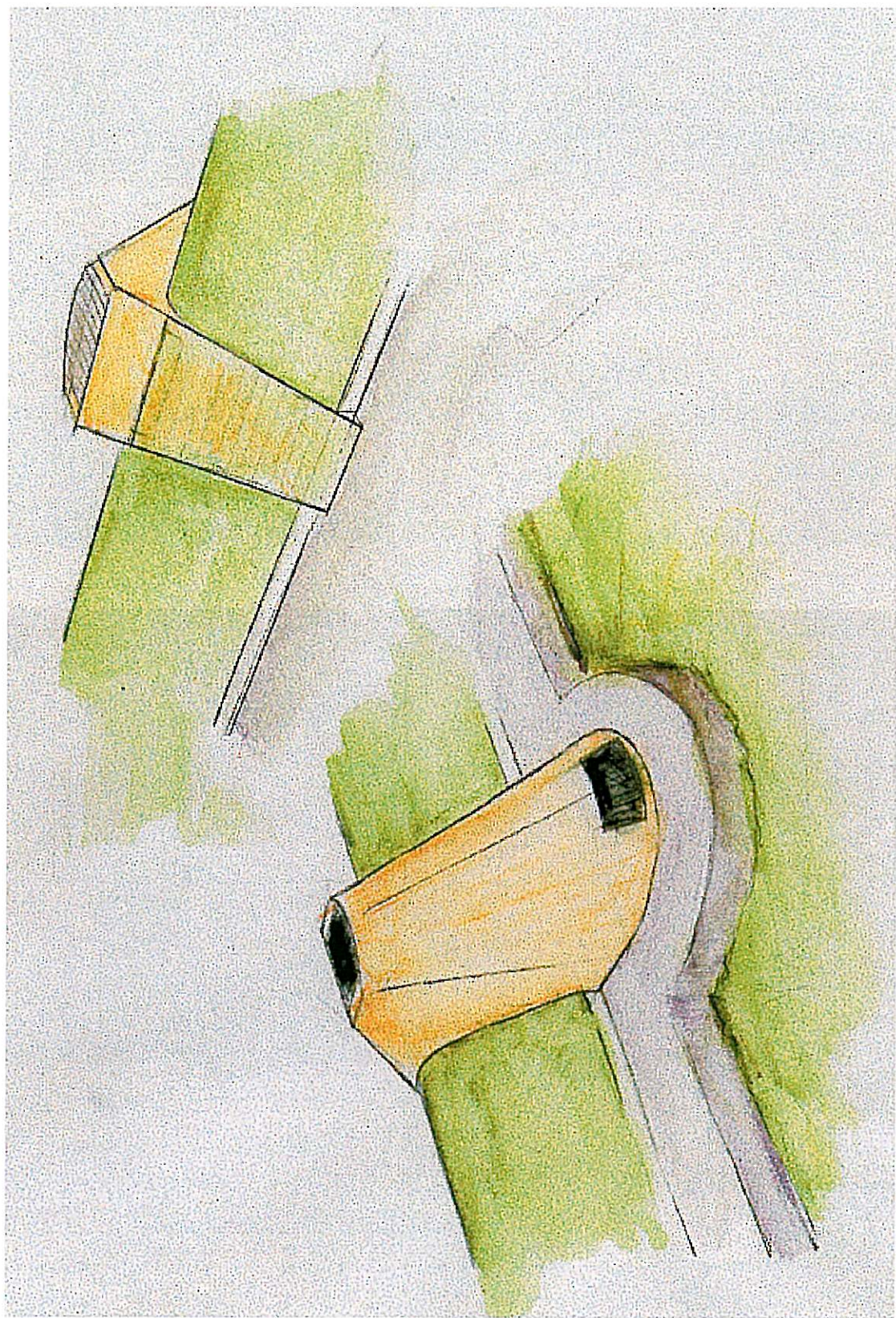


Figura 12 Disegno di un'opera di presa (HYDROPLUS)

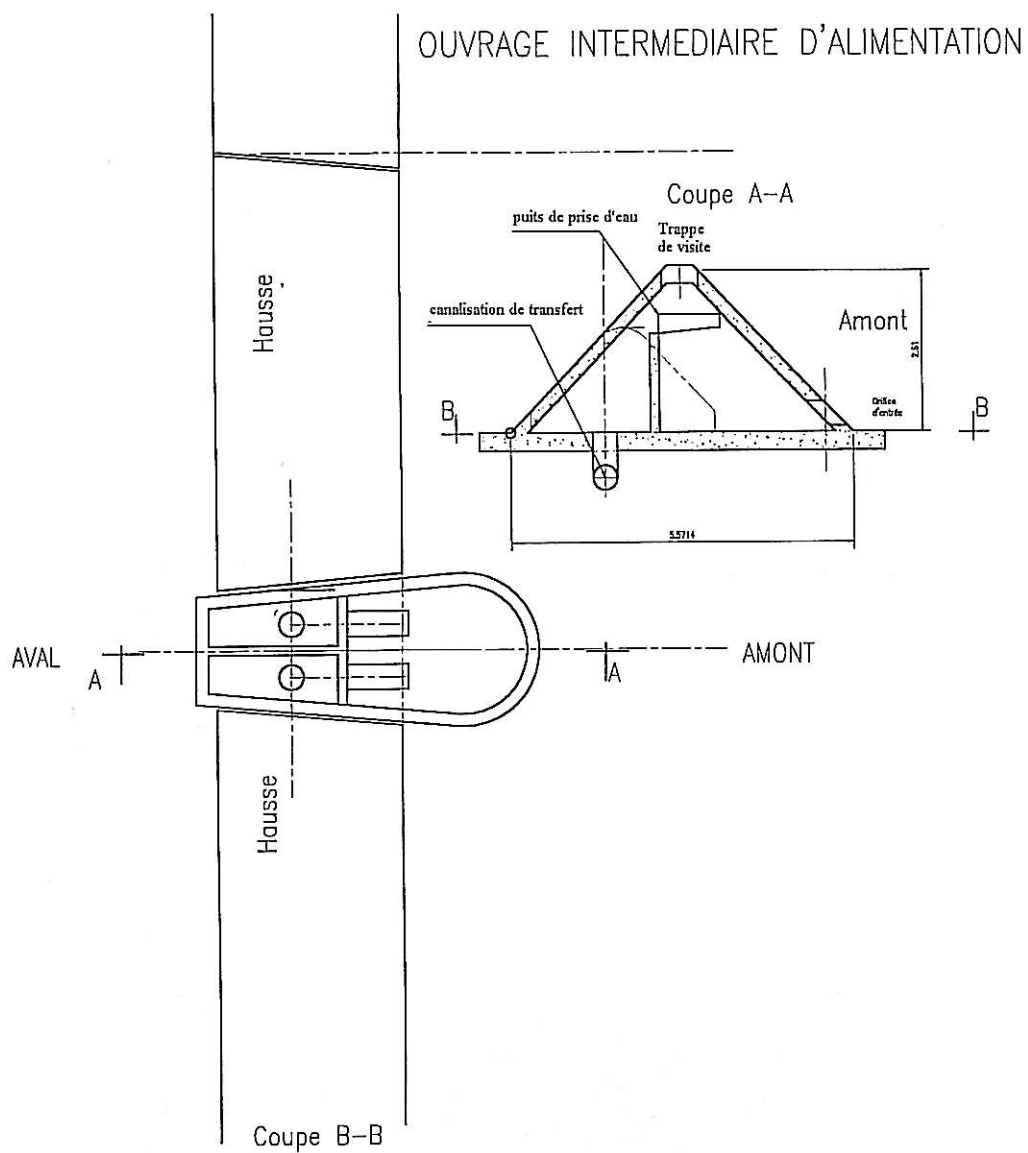


Figura 13 Schema di opera di presa (HYDROPLUS)



Figura 14 Esempio di inserimento ambientale delle opere a perdere (HYDROPLUS)

Nel caso opere di sfioro regolabili, trovano particolare utilizzazione le paratoie a ventola. Con una efficiente gestione dell'opera in tempo reale è possibile regolare le portate affluenti alla cassa durante un evento di piena. In mancanza di una struttura di gestione in tempo reale, la regolazione può essere studiata in base all'esperienza acquisita dall'osservazione del funzionamento dell'opera durante gli stati di piena.

Un tipo di regolazione particolare è quella che prevede l'utilizzo di una serie di più paratoie a ventola per ottenere una sorta di traversa a quota variabile e capace di provocare un rigurgito predeterminato della corrente in corrispondenza dello sfioratore laterale (figura 15).

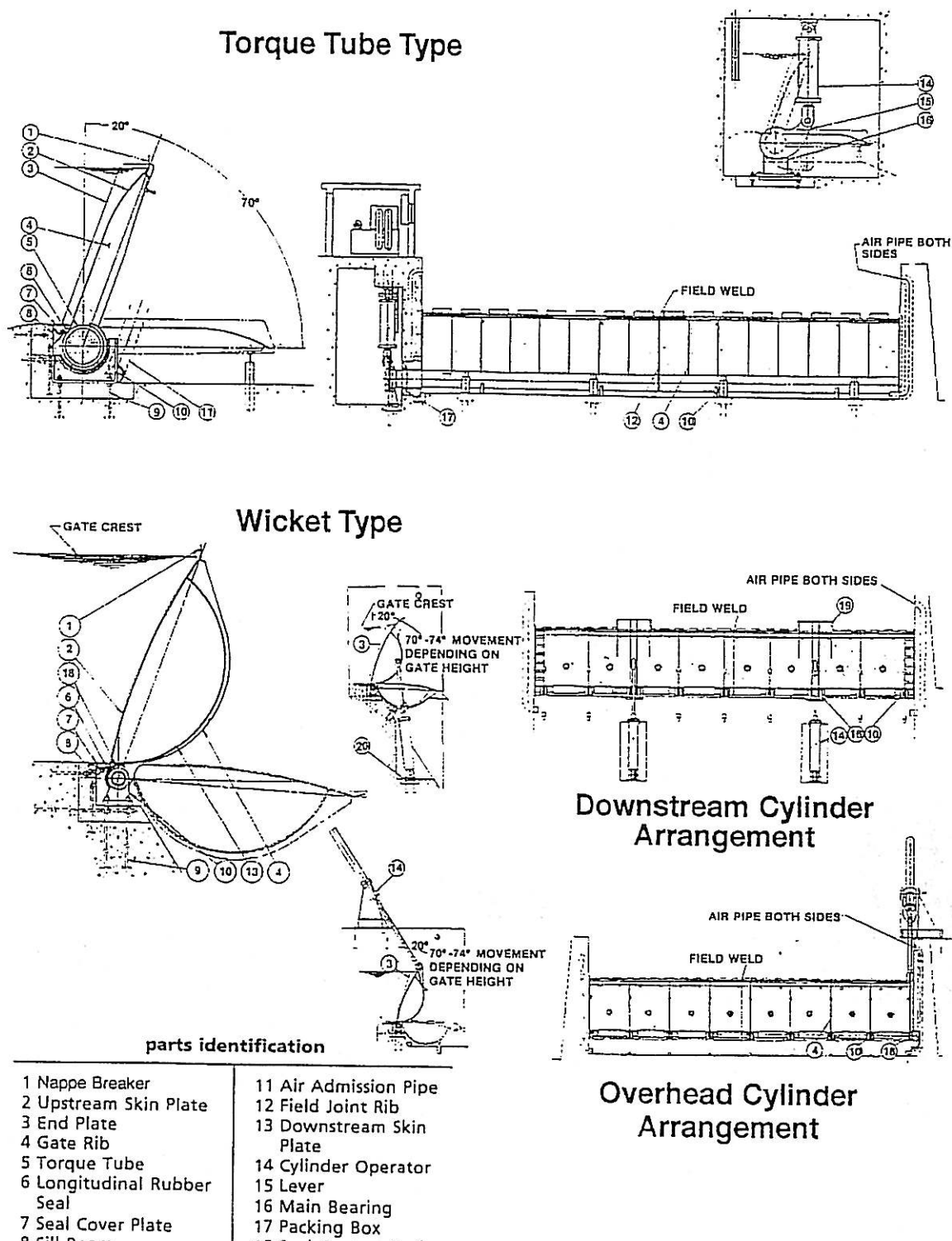


Figura 15 Schemi di paratoie a ventola (C. H. Sehgal, 1996)

Una particolare traversa mobile è quella in cui l'elemento regolabile è costituito da una sorta di cilindro gonfiabile realizzato in materiale sintetico (*Hydro Air Bag*). Questo tipo di soluzione presenta il vantaggio di adattarsi alla conformazione dell'alveo, richiede una fondazione semplice ed economica e funziona anche in assenza di energia. (figura 16,17,18).

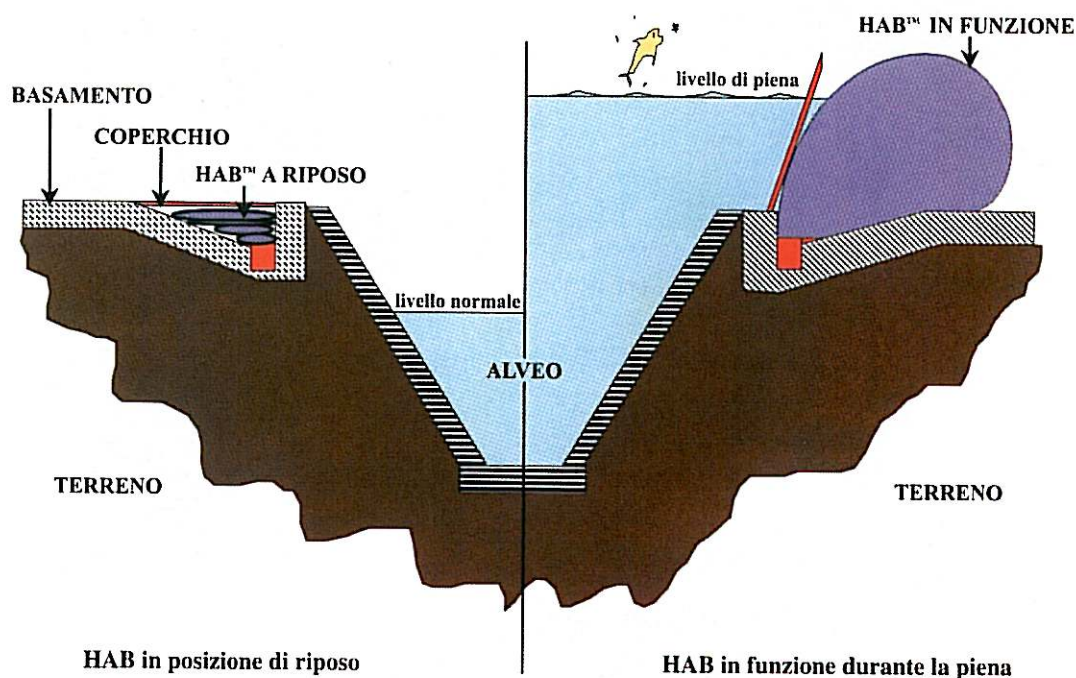


Figura 16 Funzionamento di H.A.B. nel caso di sovrалzo d'argine (Jollytech s.a.s.)



Figura 17 Traversa gonfiabile a riposo (Jollytech s.a.s.)



Figura 18 Traversa gonfiabile tracimata (Jollytech s.a.s.).

Nel caso si utilizzino manufatti idraulici che interrompono l'argine (figura 19) è necessario proteggere i paramenti arginali adiacenti ai manufatti con palancole affiancate. Gli organi di regolazione sono generalmente costituiti da paratoie piane ma si può prevedere anche l'utilizzo di paratoie a settori (figure 20 e 21)



Figura 19 esempio di manufatto idraulico di alimentazione che interrompe l'argine (Polder d'Erstein; V.N.F.)

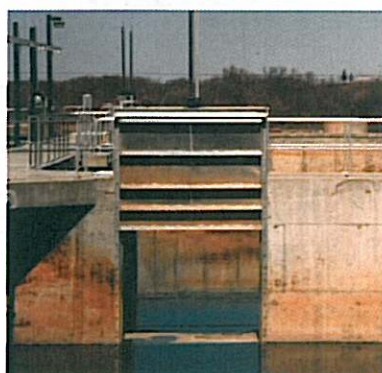


Figura 20 Esempio di paratoia piana.

La protezione degli organi meccanici viene attuata tramite la collocazione di griglie poste all'imbocco delle paratoie di caratteristiche idonee in relazione al materiale flottante trasportato dalla corrente fluviale.

Le modalità di calcolo delle leggi di efflusso di tali paratoie sono indicate nello schema di calcolo #11.

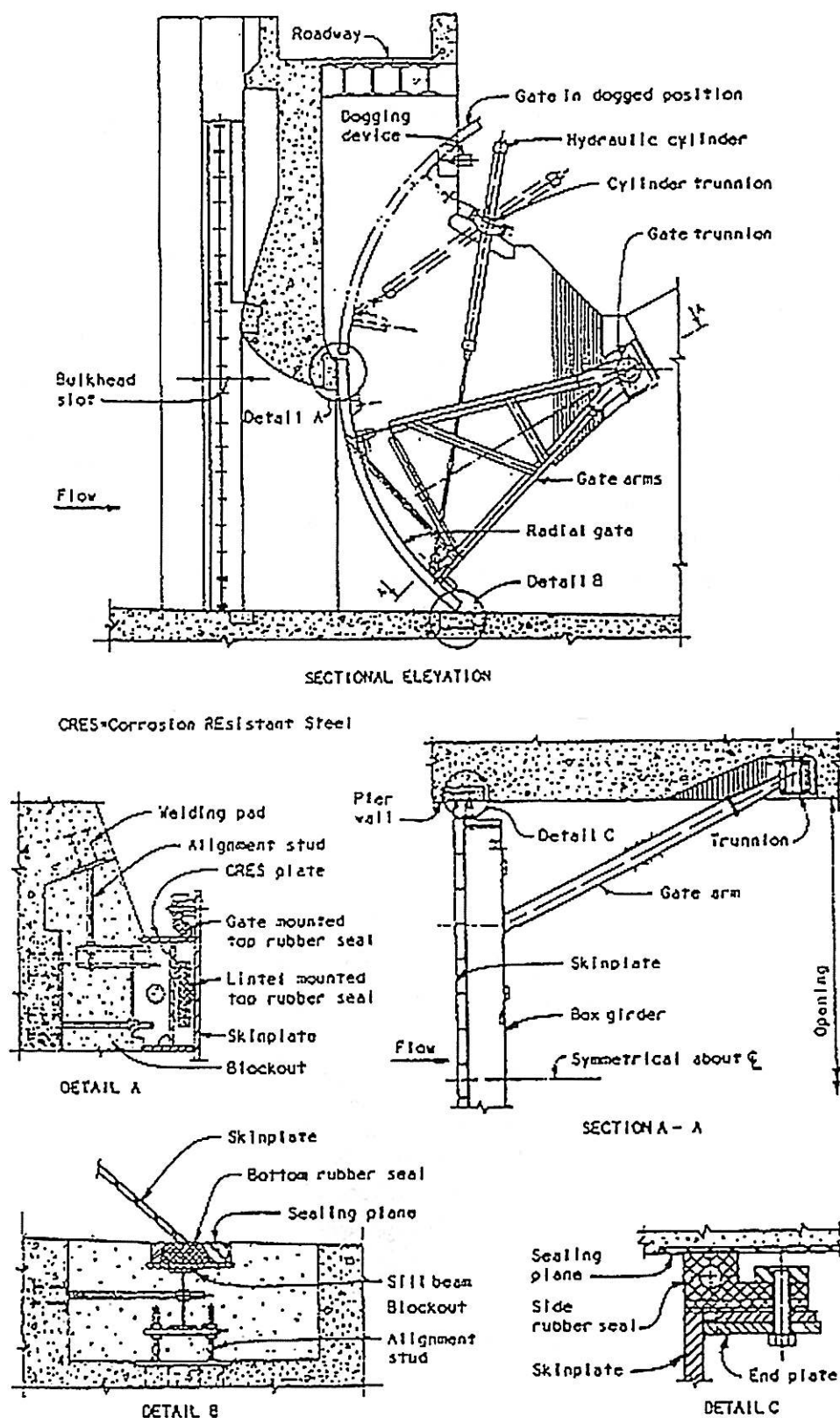


Figura 21 Esempio di paratoia a settori (C. K. Sehgal, 1996)

L'allontanamento delle portate di piena dalla cassa avviene tramite scarichi di superficie e di fondo. I primi, solitamente detti sfioratori di sicurezza, entrano in funzione sia per evitare che le portate catastrofiche, una volta saturata la capacità della cassa, possano tracimare la cintura arginale determinandone il danneggiamento o la distruzione, sia per assicurare la connessione idraulica tra i vari settori di un'unica cassa. Si tratta in generale di stramazzi in parete grossa (schema di calcolo #1) dimensionati per evacuare portate corrispondenti a valori del tempo di ritorno da stabilire caso per caso secondo l'importanza dell'opera ed il livello di rischio accettabile per le aree contermini. Nel caso di sfioratori che connettono i settori di una cassa è possibile prevedere soluzioni alternative, come ad esempio file di tubi o scatolari (schema di calcolo #10).

Gli scarichi di fondo essendo, come dianzi accennato, realizzati frequentemente come tombini che sottopassano la cintura arginale, sono invece dimensionati per funzionare in pressione. Per le tubazioni di piccolo diametro si può utilizzare lo schema di calcolo #5, altrimenti è necessario studiare le varie fasi del funzionamento a tombino (schema di calcolo #10; Da Deppo e Datei, 1994; Mignosa e Tomirotti, 1998).

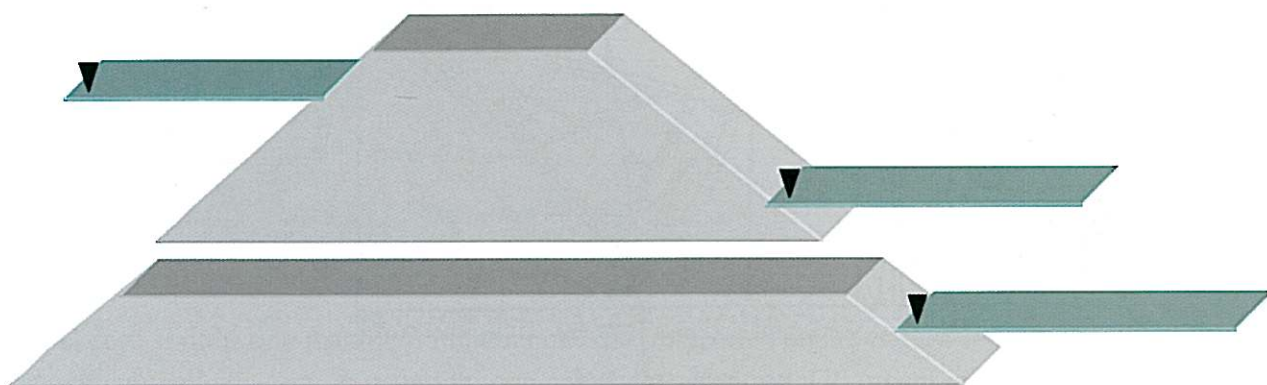


Figura 22 Schema di scarico di fondo

Per le casse situate lungo gli affluenti gli scarichi di fondo possono essere muniti di portelle (schema di calcolo #6) le quali permettono una regolazione semiautomatica dello scarico e consentono quindi di migliorare l'efficienza della cassa (figura 23).

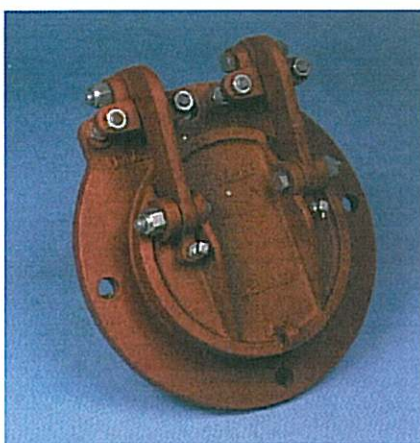


Figura 23 Esempio di portella.

Lungo l'argine principale possono essere realizzati manufatti idraulici di scarico regolati da paratoie piane che interrompono l'arginatura (figura 24).



Figura 24 Manufatto idraulico di scarico che interrompe l'arginatura (Polder de La Moder)

Dal punto di vista idraulico i dispositivi adottati danno luogo a processi di efflusso libero o rigurgitato e talvolta a correnti nelle quali le perdite di carico localizzate e distribuite non sono trascurabili.

Le sezioni di ingresso e di uscita degli scarichi devono essere opportunamente protette per evitare il rischio di instaurazione di fenomeni erosivi.

Sia nella sezione dello scarico di fondo che nelle sezioni ove sono presenti manufatti di alimentazione che attraversano l'argine, occorre prevedere l'utilizzo di diaframature per evitare l'innescio di fenomeni di sifonamento e compiere le verifiche indicate al capitolo 5.

3. Schemi di calcolo

Schema di calcolo #1: stramazzi non rigurgitati

In assenza di rigurgito la formula dell'efflusso a stramazzo è:

$$Q = \mu L_e h \sqrt{2gh} \quad (2)$$

ove Q è la portata, L_e è la larghezza efficace dello stramazzo¹, h è il *carico* sullo stramazzo, che va maggiorato dell'altezza cinetica della corrente a monte dell'opera:

$$h_c = \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

se tale termine non è trascurabile rispetto ad h .

Il *coefficiente di efflusso* μ varia a seconda della geometria dell'opera; i relativi valori si possono trovare nei testi e manuali di idraulica

¹ Al netto, cioè, di eventuali pile e delle relative contrazioni laterali.

Schema di calcolo #1.1: Stramazzo in parete grossa

La tipologia più comune tra gli stramazzi è quella a larga soglia o di *Belangér*. La larghezza L_e tiene conto della presenza di eventuali pile o altri ostacoli che riducono la luce oltreché della eventuale contrazione laterale dovuta a imbocchi non raccordati, in specie sui fianchi, o altro distacco di vena in corrispondenza delle stesse pile.

La perdita di sezione efficace L_c dovuta alla contrazione laterale si calcola con l'espressione:

$$L_c = \sum_{i=1}^n \eta h \quad (4)$$

dove h è il carico sulla soglia, n è il numero dei distacchi di vena sullo stramazzo, η è un coefficiente che secondo Francis è pari a 0,1.

In definitiva la larghezza dello stramazzo è pari a :

$$L = L_e + pL_p + L_c \quad (5)$$

dove p è il numero delle eventuali pile di larghezza L_p .

D'Abuissou ha trovato la seguente espressione che tiene conto anche della geometria delle pile:

$$L_e = k_a (L - pL_p) \quad (6)$$

dove i valori di k_a variano in funzione del rapporto: $\frac{L - pL_p}{L}$ (Chow V. T., 1959; French R.H., 1985; Rotzgar B., 1995, U.S.B.R., 1974).

Tabella1

Forma della pila	$\frac{L - pL_p}{L}$				
	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Squadrata	0,96	1,02	1,02	1	0,97
Con fronte e retro semicirculari	0,99	1,13	1,20	1,26	1,31
Con fronte e retro lenticolari	1,00	1,14	1,22		

Il legame tra il carico a monte h e l'altezza d'acqua sulla soglia k è dato dall'espressione

$$h = k + \frac{Q^2}{2g(kL_e)^2} \quad (7)$$

Poiché il livello idrico sullo stramazzo è pari all'altezza critica, si può scrivere, se la sezione ha forma rettangolare e la velocità della corrente a monte di esso è trascurabile:

$$h = \frac{3}{2}k \quad (8)$$

che combinata con la (7) fornisce per il coefficiente m della formula (2) dell'efflusso a stramazzo il valore 0.385.

Schema di calcolo #1.2: Stramazzo con profilo Scimemi-Creager

Come già detto il profilo *Scimemi-Creager* della soglia sfiorante migliora, maggiorandolo, il coefficiente di efflusso. Inoltre assicura l'instaurarsi della pressione atmosferica lungo il suo sviluppo al passaggio della portata di dimensionamento, evitando in tal modo l'insorgere del fenomeno di cavitazione.

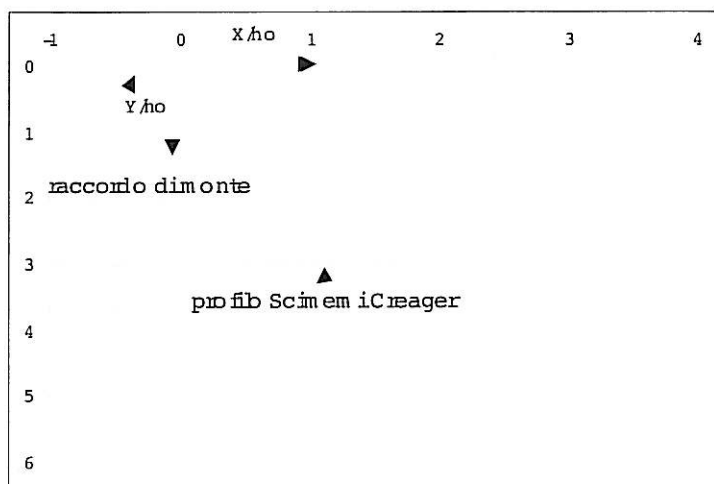


Figura 25 Calcolo del profilo Shimemi-Creager

La vena liquida aderisce al petto di valle della soglia, il cui profilo è rappresentato analiticamente dalla seguente espressione dedotta per via sperimentale:

$$\frac{Y}{h_o} = 0.47 \left(\frac{X}{h_o} \right)^{1.80} \quad (9)$$

ove (X, Y) è un sistema di coordinate con l'origine posta sul ciglio della soglia, asse X orizzontale con verso positivo verso valle e asse Y verticale con verso positivo verso il basso; h_o è il carico di riferimento corrispondente alla portata massima di progetto. Il profilo viene raccordato a monte con un arco di circonferenza di raggio

$$r = 0,4h_o \quad (10)$$

e con centro sull'asse Y . Il raccordo termina quando la freccia f verticale individuata sullo stesso asse risulta pari a

$$f = 0,12h_o \quad (11)$$

Il coefficiente di efflusso μ è variabile con il carico h sulla soglia. Poiché il profilo *Scimemi-Creager* è progettato per la portata massima che si prevede di smaltire, il funzionamento idraulico della soglia sfiorante è ottimale solo in queste condizioni: per carichi molto inferiori a quello di riferimento, si hanno portate confrontabili con quelle dello stramazzo a larga soglia, mentre per carichi superiori il coefficiente di efflusso assume valori superiori a quello corrispondente al carico h_o . In queste ultime condizioni si generano però depressioni sulla soglia col rischio di innescare fenomeni di cavitazione. Tuttavia per valori del carico superiori di

un 10% quello di progetto, tali fenomeni sono trascurabili. I valori del coefficiente di efflusso in funzione del carico sono riportati nella seguente Tabella 2.

Tabella 2: coefficienti di efflusso per i profili tipo Scimemi-Creager

carico	μ
h_o	0,48-0,49
$<<h_o$	0,385
$0,85h_o$	0,45
$1,1h_o$	0,5

Nel caso che il ciglio dello stramazzo sia regolato da paratoie, conviene tracciare il profilo in base ad un carico pari a $1,43h_o$ per evitare depressioni quando queste sono parzialmente sollevate (Contessini F., 1953; Horton R. E., 1907; Marone V., 1964).

Schema di calcolo #2: Stramazzo con sezione trapezia

Nel caso in cui la sezione longitudinale dello stramazzo sia trapezia e la differenza tra le basi maggiore e minore non sia trascurabile, l'equazione (2) è eccessivamente approssimata in quanto l'inclinazione delle sponde produce una riduzione o un aumento significativo delle portate a parità di carico h .

In questi casi si utilizza la seguente formula di efflusso:

$$Q = \frac{\mu}{15} (11L + 4(2h \tan \alpha + L)) h \sqrt{2gh} \quad (12)$$

Dove L è la base dello stramazzo, μ è il coefficiente di efflusso, ed α è l'inclinazione delle sponde rispetto alla verticale.

Schema di calcolo #3: Efflussi a battente attraverso luci in parete sottile

L'efflusso da una luce si dice *battente* quando la vena effluente è confinata per intero dalla parete solida della luce. L'equazione che ne descrive il funzionamento idraulico è la seguente:

$$Qu(t) = \mu_1 A \sqrt{2gh} \quad (13)$$

Dove μ_1 è il coefficiente di efflusso pari a circa 0,6 per le luci rettangolari e circolari a spigolo vivo, A è l'area della luce ed h è il carico misurato rispetto al baricentro della luce.

Schema di calcolo #4: stramazzi a larga soglia e luci rigurgitate

Come si è già detto per ridurre, a parità di livello nella cassa, la portata effluente e di conseguenza migliorare il rendimento della cassa, a valle della soglia si dispone una vasca di dissipazione dimensionata in modo che provochi un rigurgito a monte di entità prestabilita.

L'altezza della controbriglia situata alla estremità di valle della vasca viene stabilita in base alla portata di picco Q_{maxi} dell'onda di piena in ingresso; in questo modo per valori della portata uguali o minori di Q_{maxi} il risalto è sempre contenuto all'interno della vasca (ed annegato).

L'energia specifica posseduta dalla corrente defluente subito a monte della contro briglia è data da:

$$E = E' + a \quad (14)$$

dove a è l'altezza della controbriglia ed E' è l'energia specifica (o carico totale) sulla controbriglia pari a:

$$E' = \frac{3}{2}k \quad (15)$$

$$k = 3\sqrt{\frac{Q_u^2}{gB^2}} \quad (16)$$

Poiché E è per definizione esprimibile come:

$$E = y_v + \frac{Q_u^2}{2gy_v^2B^2} \quad (17)$$

Con y_v altezza d'acqua subito a monte della controbriglia e Q_u portata effluente dalla luce; dalla combinazione delle (14), (15), (16) e (17) si ottiene:

$$\frac{3}{2}\sqrt{\frac{Q_u^2}{gB^2}} + a = y_v + \frac{Q_u^2}{2gy_v^2B^2} \quad (18)$$

Nel caso delle luci Q_u è esprimibile come:

$$Q_u = \mu A \sqrt{2g\delta} \quad (19)$$

con δ differenza tra i livelli idrici a monte e a valle dello scarico.

Nel caso dello stramazzo rigurgitato la portata è esprimibile come somma di due contributi: uno calcolabile con la formula dello stramazzo libero di larghezza L e carico h (differenza tra livello idrico a monte e a valle della soglia), l'altro, dovuto alla luce a battente rigurgitata di altezza h_v (differenza tra il livello idrico a valle della soglia e la quota della soglia) e larghezza L ,

$$Q = \mu Lh\sqrt{2gh} + \mu_1 Lh_v\sqrt{2gh} \quad (20)$$

μ e μ_1 sono rispettivamente i coefficienti di efflusso delle luci a stramazzo e a battente.

La condizione di sommergenza è data dalla seguente disuguaglianza:

$$h_v > k = \frac{2}{3}h_m \quad (21)$$

dove h_m è il carico sulla soglia (figura 26). Risultati sperimentali dimostrano tuttavia che il deflusso libero si mantiene anche per valori superiori di k (Da Deppo L., 1997; Milano et al., 1998).

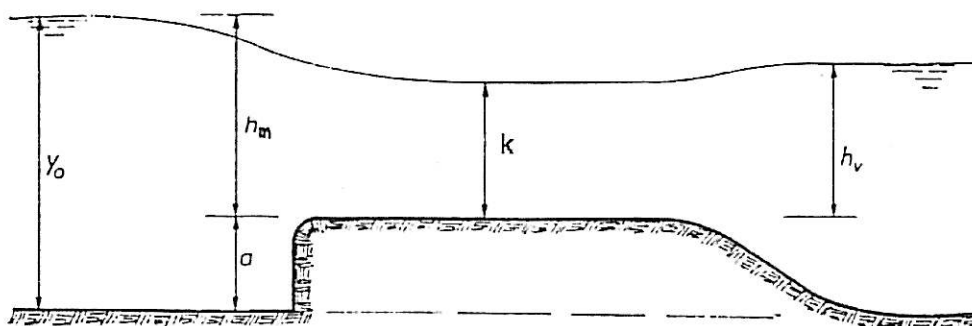


Figura 26 Schema di stramazzo rigurgitato

Schema di calcolo #5: tubazioni in pressione

Per il calcolo della portata attraverso una tubazione si applicano le equazioni dell'idraulica dei fluidi reali portando in conto le perdite di carico continue e localizzate.

L'equazione del moto si scrive:

$$\Delta h = \frac{V^2}{2g} + JL + \sum_i^n \xi_i \frac{V^2}{2g} \quad (22)$$

dove Δh è il dislivello totale, ξ_i è il coefficiente di perdita localizzata e J è la perdita di carico continua per unità di lunghezza, calcolabile con la formula di Chezy:

$$J = \frac{V^2}{\chi^2 R} \quad (23)$$

il coefficiente χ si può calcolare con l'espressione di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s R^{1/6} \quad (24)$$

dove k_s è il coefficiente di scabrezza ed R è il raggio idraulico.

I valori del coefficiente ξ delle perdite localizzate, per alcuni casi tipici, sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3

Causa di perdita	ξ
Imbocco a spigolo vivo	0,50
Imbocco più o meno raccordato	0,0-0,40
Paratoia o saracinesca	0,15
Valvola a farfalla	0,50
Valvola a fuso	0,25

Dalla (22) si ricava:

$$Q_u = \mu 1A \sqrt{2g(\Delta h - JL - \sum_i^n \xi_i \frac{V^2}{2g})} \quad (25)$$

dove A è l'area della sezione trasversale dello scarico.

Schema di calcolo #6: scarichi con portella

La legge di efflusso da uno scarico di fondo con portella si determina nell'ipotesi che il peso della portella sia trascurabile e conseguentemente che lo scarico si apra istantaneamente non appena il livello idrico nel fiume scende al di sotto di quello nella cassa.

La scala delle portate si può quindi calcolare seguendo gli schemi #3 e #5.

Schema di calcolo #7: sifoni

I sifoni possono essere collocati a cavallo di una soglia o di un argine e vengono realizzati in genere in acciaio. La bocca di ingresso può presentare un restringimento per limitare l'ingresso di materiali grossolani che potrebbero ostruire il condotto; essa inoltre deve essere tenuta costantemente sott'acqua in modo che il sifone possa essere innescato in ogni momento.

Nota la portata massima $Q_{max i}$ che si intende scaricare, il calcolo del numero di sifoni n e del diametro delle tubazioni viene effettuato applicando l'equazione del moto tra le sezioni di ingresso e di uscita:

$$\Delta h = \frac{\left(\frac{Q_{max i}}{nA}\right)^2}{2g} + JL + \xi \frac{\left(\frac{Q_{max i}}{nA}\right)^2}{2g} \quad (26)$$

dove Δh è il dislivello del pelo libero tra le sezioni di imbocco e sbocco ($y_i - y_{sb}$), ξ rappresenta il coefficiente di perdita di carico di imbocco pari a 0,5 ed L è la lunghezza dei sifoni.

Occorre verificare che nel punto più alto del sifone la pressione assoluta sia positiva e comunque non inferiore a 6-7 m di colonna d'acqua. Deve quindi risultare verificata la seguente relazione:

$$y_{max} - y_i + \frac{1,5}{2g} \left(\frac{Q_{max i}^2}{nA}\right)^2 + JL' < 6 - 7m \quad (27)$$

dove y_i è la quota del livello idrico all'imbocco y_{max} è la quota del punto più elevato del sifone ed L' è la lunghezza del tratto di sifone compreso tra la sezione di imbocco ed il punto più elevato dello stesso.

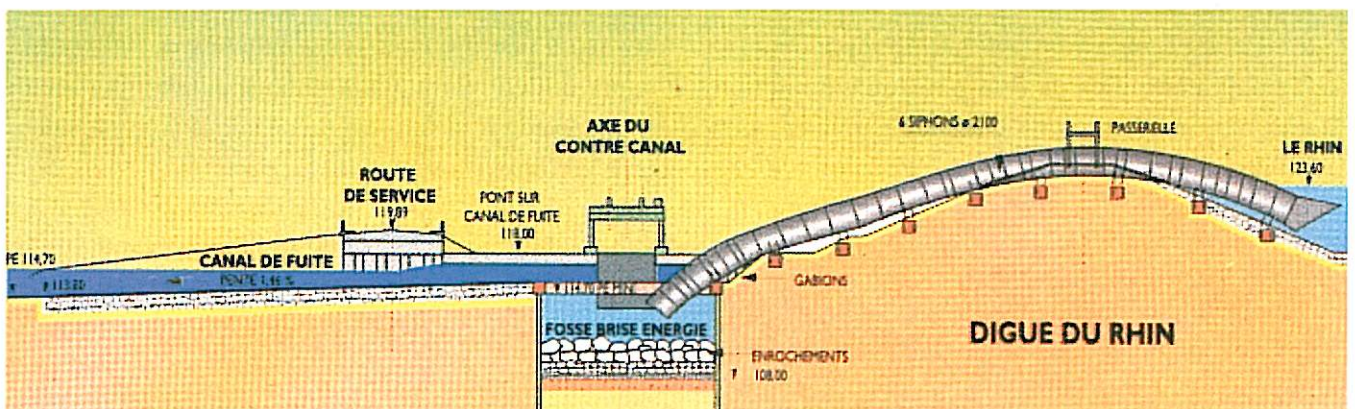


Figura 27 Schema di sifone posto a cavallo di un argine (V.N.F.).

Schema di calcolo #8 scarico a maschera

Per il calcolo del funzionamento a maschera è necessario applicare l'equazione di moto tra le sezioni 1 e 3 e le sezioni 2 e 3 (figura 7) e l'equazione di continuità al nodo dove le correnti 1 e 2 si incontrano.

Si ha:

$$\Delta h = 0,5 \frac{Q_1^2}{2gA_1^2} + (\xi_{1-3} + 1) \frac{Q_3^2}{2gA_3^2} \quad (28-a)$$

$$\Delta h = 0,5 \frac{Q_2^2}{2gA_2^2} + (\xi_{2-3} + 1) \frac{Q_3^2}{2gA_3^2} \quad (28-b)$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (28-c)$$

dove Δh è la differenza tra i livelli di pelo libero a monte e a valle dell'opera, $Q_{1,2,3}$ sono le portate transittanti, ξ_{1-3}, ξ_{2-3} sono i coefficienti di perdita di carico nel nodo.

Per Q_1/Q_3 variabile tra 1 e 0,5 si possono assumere per calcoli di primo orientamento i valori dei coefficienti ξ che sono riportati nella tabella 4. Il reale comportamento di questo tipo di opera può essere definito solo attraverso prove su modello fisico.

Tabella 4

ξ_{1-3}	0,4-1,1
ξ_{2-3}	0,5-0,6

Schema di calcolo #9: restringimento di sezione

Il fenomeno di rigurgito della corrente causato da un restringimento di sezione dipende essenzialmente dal rapporto di restringimento r :

$$r = \frac{b}{B} \quad (29)$$

dove b è la larghezza del restringimento e B è la larghezza del fiume.

Per un fissato valore di r la corrente defluisce attraverso il restringimento in condizioni di stato critico se l'energia specifica da essa posseduta è inferiore al valore critico relativo alla sezione del restringimento stesso, altrimenti conserva il suo contenuto energetico. Se si prevede in sede progettuale che la corrente debba attraversare il restringimento in condizioni critiche, occorre verificare la seguente relazione:

$$y_0 + \frac{V^2}{2g} < \frac{3}{2} \sqrt{\frac{Q^2}{gb^2}} \quad (30)$$

dove y_0 è il livello idrico di corrente indisturbata.

Il deflusso attraverso la strozzatura può essere studiato attraverso la seguente relazione che deriva dall'applicazione del teorema di Bernoulli al tronco di corrente compreso tra una sezione posta poco a monte

della strozzatura e la strozzatura stessa nell'ipotesi che all'interno di essa la corrente defluisca in condizioni critiche:

$$1 + \frac{Fr^2}{2} - \frac{3}{2} \frac{Fr^{\frac{2}{3}}}{r^{\frac{2}{3}}} = 0 \quad (31)$$

dove Fr è il numero di Froude:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} \quad (32)$$

con y altezza della corrente.

La (31) ammette due soluzioni positive per ogni valore di r che si indicano con i simboli limite $F'_L < 1$ ed $F''_L > 1$.

Con riferimento alla figura 28, attraverso il restringimento si possono avere tre distinte condizioni di deflusso:

- Classe A: Moto subcritico ($0 < Fr_0 < F'_L$);
- Classe B: Moto con transizione ($F'_L < Fr_0 < F''_L$);
- Classe C: Moto supercritico ($Fr_0 > F''_L$).

La classe C ha scarso interesse pratico e pertanto non viene esaminata.

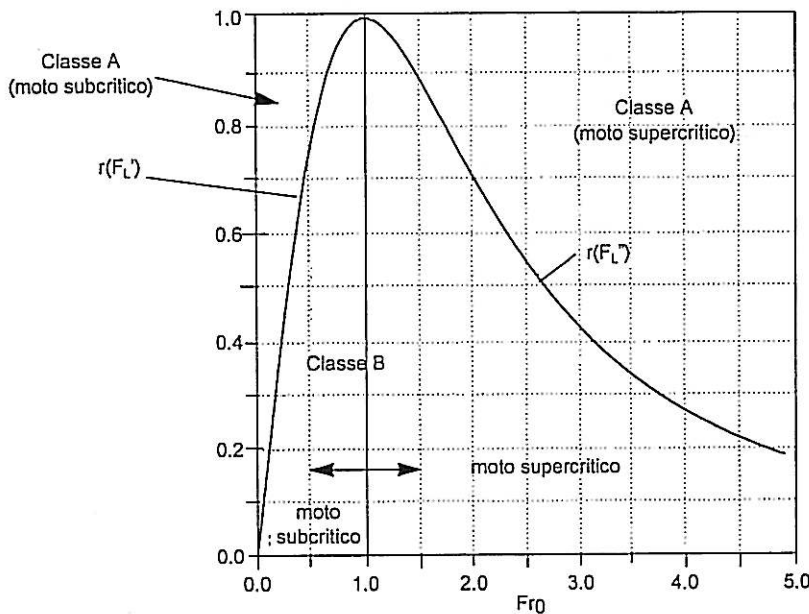


Figura 28 Condizioni di moto attraverso un restringimento.

Nelle condizioni di deflusso di classe A (figura 29) la corrente è ovunque lenta ed il sopraelevamento Δy rispetto alla corrente indisturbata può essere calcolato con la seguente espressione:

$$\frac{\Delta y}{y_3} = k Fr_3^2 (k - 0,6 + 5 Fr_3^2) (\gamma + 15 \gamma^4) \quad (33)$$

in cui y_3 è l'altezza della corrente subito a valle del restringimento, Fr_3 è il corrispondente numero di

Froude, k è il coefficiente di forma del restringimento (figura 30), i cui valori sono riportati in tabella 5, e γ è pari a:

$$\gamma = 1 - r \tag{34}$$

L'altezza y_3 è data dal più grande dei due valori che si ottengono risolvendo l'equazione di Bernoulli scritta per il tronco di corrente compreso tra la sezione dell'alveo situata immediatamente a monte della strozzatura e la strozzatura. Per la soluzione di tale equazione si può adottare il metodo grafico indicato in figura 29

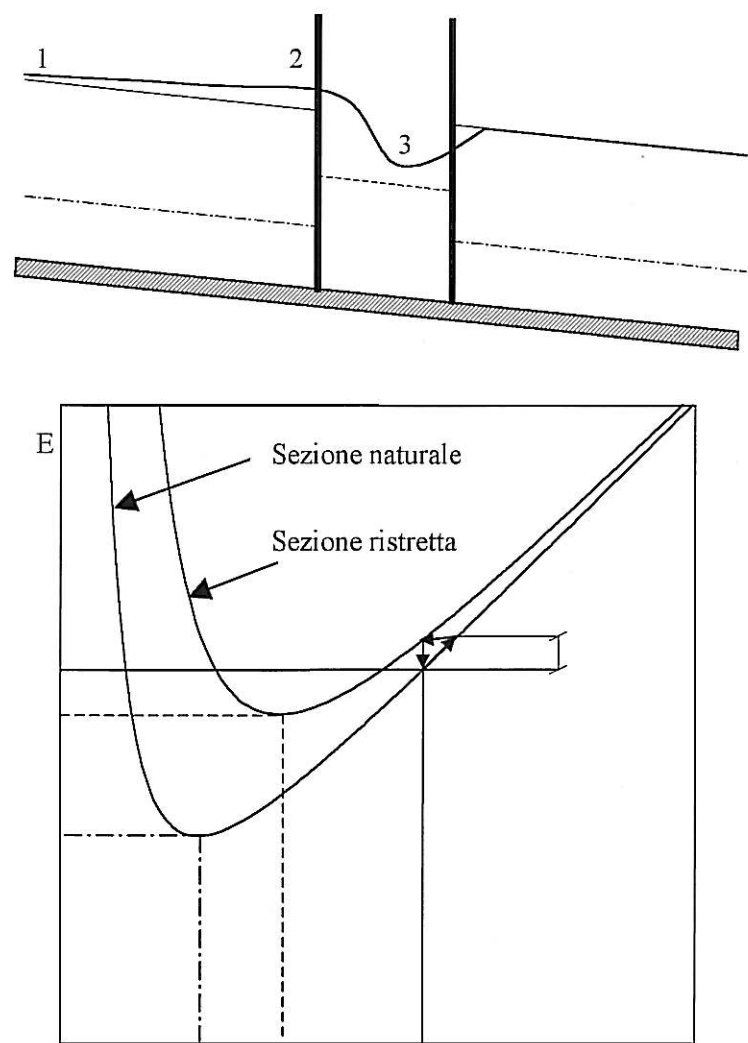


Figura 29 Moto di classe A: corrente lenta indisturbata

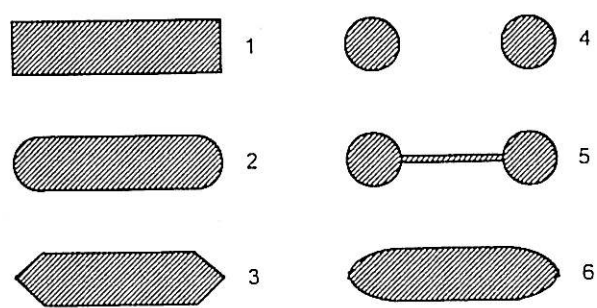


Figura 30 Forma dei restringimenti

Tabella 5 Valori del coefficiente k

Forma del restringimento	k
1	1,25
2	0,9
3	1,05
4	1,05
5	0,95

Nelle condizioni di deflusso di classe B, per un alveo a debole pendenza, la profondità a monte del restringimento y_1 , si può valutare con la formula di Marchi che ben interpreta i risultati sperimentali:

$$y_1 = k^3 \sqrt{\frac{Q^2}{gB^2 Fr_L'^2}} \quad (35)$$

Nella quale per k devono essere adottati i valori riportati nella tabella 6.

Una volta calcolato y_1 è possibile calcolare il profilo di moto permanente con le modalità indicate nel capitolo 3.

Tabella 6 Valori del coefficiente k .

Forma del restringimento	k
Fronti quadrati (1)	1,135
Fronti triangolari a 90° (3)	1,085
Fronti semicircolari (2)	1,05

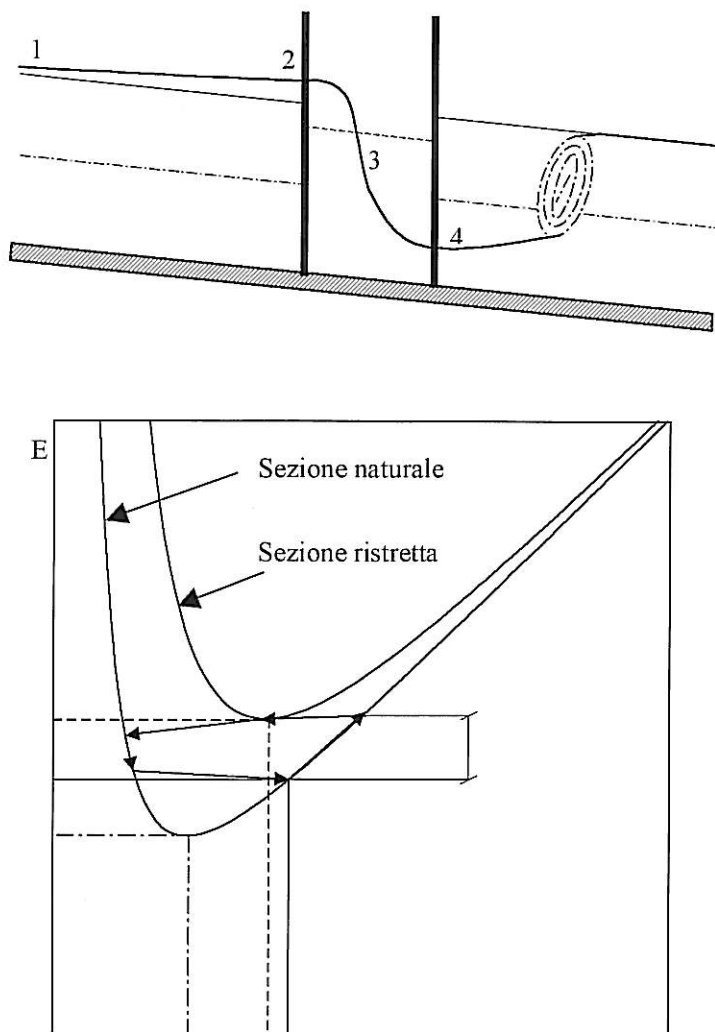


Figura 31 Moto di classe B per alveo a debole pendenza (Mignosa e Tomirotti, 1998)

Schema di calcolo #10: tombini

Il comportamento idraulico di un tombino può essere schematizzato nei sei casi illustrati nella figura 32. Le caratteristiche del moto dipendono principalmente: dalla forma dell'imbocco e dal tipo di sezione, dalla scabrezza del condotto, dalla pendenza e dalle condizioni idrometriche di monte e/o di valle. Il deflusso della corrente idrica nel tombino può avvenire sia a pelo libero che in pressione; la seconda condizione si verifica sempre allorché lo sbocco è sommerso. L'osservazione sperimentale ha mostrato che condizioni di moto in pressione si possono realizzare anche quando lo sbocco non è sommerso, purché l'imbocco sia sommerso e il tombino sia sufficientemente lungo (tombino *idraulicamente lungo*). Può accadere che il deflusso sia parzialmente in pressione, cioè tale che, in una sezione intermedia, la corrente, staccatasi dal cielo del tombino, passi a superficie libera fino allo sbocco, consentendo il deflusso di una maggiore portata rispetto al funzionamento in pressione. In questi casi è più cautelativo fare riferimento alle condizioni di deflusso in pressione.

Inoltre è stato verificato che l'imbocco risulta sommerso solo quando l'altezza idrica rispetto al fondo del tombino nella sezione di arrivo supera un valore limite H^* che è compreso tra 1,2 e 1,5 volte il diametro D del tombino. Il valore di H^* dipende dalla geometria dell'imbocco, dalle caratteristiche delle pareti e

dalla velocità della corrente in arrivo; generalmente si assume $H^*=1,5D$.

Quando l'imbocco è sommerso può accadere che il deflusso non si realizzi in pressione. Infatti la corrente entrante presenta all'imbocco una contrazione di vena e una successiva espansione causata dalla diminuzione della velocità simili a quelle che si riscontrano nel caso di efflusso da luci di fondo, e se il tombino non è sufficientemente lungo la superficie libera non raggiunge il cielo della sezione. In questo caso il tombino viene definito *idraulicamente corto*.

Da quanto ora detto le condizioni di deflusso nei tombini possono essere così distinte:

A. luce di sbocco sommersa;

B. luce di sbocco non sommersa;

B.1: $H > H^* = 1,5D$

B1.1 tombino idraulicamente lungo (deflusso in pressione);

B1.2: tombino idraulicamente corto (deflusso a pelo libero, moto supercritico);

B.2: $H < H^*$: deflusso a pelo libero.

Indicando con y_0 il livello idrico di valle, y_c l'altezza critica e i_c la pendenza critica, si hanno i seguenti casi:

B2.1: $y_0 > y_c$ moto subcritico;

B2.2: $y_0 > y_c$ moto supercritico;

B2.2.1 $i < i_c$ moto subcritico;

B2.2.2 $i > i_c$ moto supercritico;

L'imbocco viene caratterizzato da due parametri r/D e w/D dove r è il raggio di curvatura del raccordo e w è l'altezza dello smusso; mentre il tombino può essere caratterizzato dal rapporto L/D tra la sua lunghezza e la sua altezza. In figura 33 è riportato un grafico che riassume le possibili condizioni di deflusso nel tombino.

I tombini dei casi A e B1.1 si calcolano come condotte in pressione e quindi si può fare riferimento allo schema di calcolo #5.

Nel caso B1.2 si considera un funzionamento a battente e quindi lo schema di riferimento è il #3, tenendo conto che in questo caso il coefficiente μ varia tra 0,45 e 0,75 in funzione del tipo di sagomatura dell'imbocco e del rapporto H/D .

Nel caso B2.2.2. la portata viene calcolata imponendo che in una sezione iniziale si formi l'altezza critica. Si può quindi scrivere:

$$H - \Delta H_i = H - \xi \frac{Q^2}{2gA^2} = y_c + \frac{1}{2} y_{cm} \quad (36)$$

dove ΔH_i è la perdita di carico all'imbocco ed y_{cm} è l'altezza media di stato critico che per sezioni rettangolari è pari a y_c e vale:

Dove con B è la larghezza della sezione.

Nei casi B2.1 e B2.2.1 la portata è di più difficile determinazione, risultando funzione della condizione idrometrica di valle.

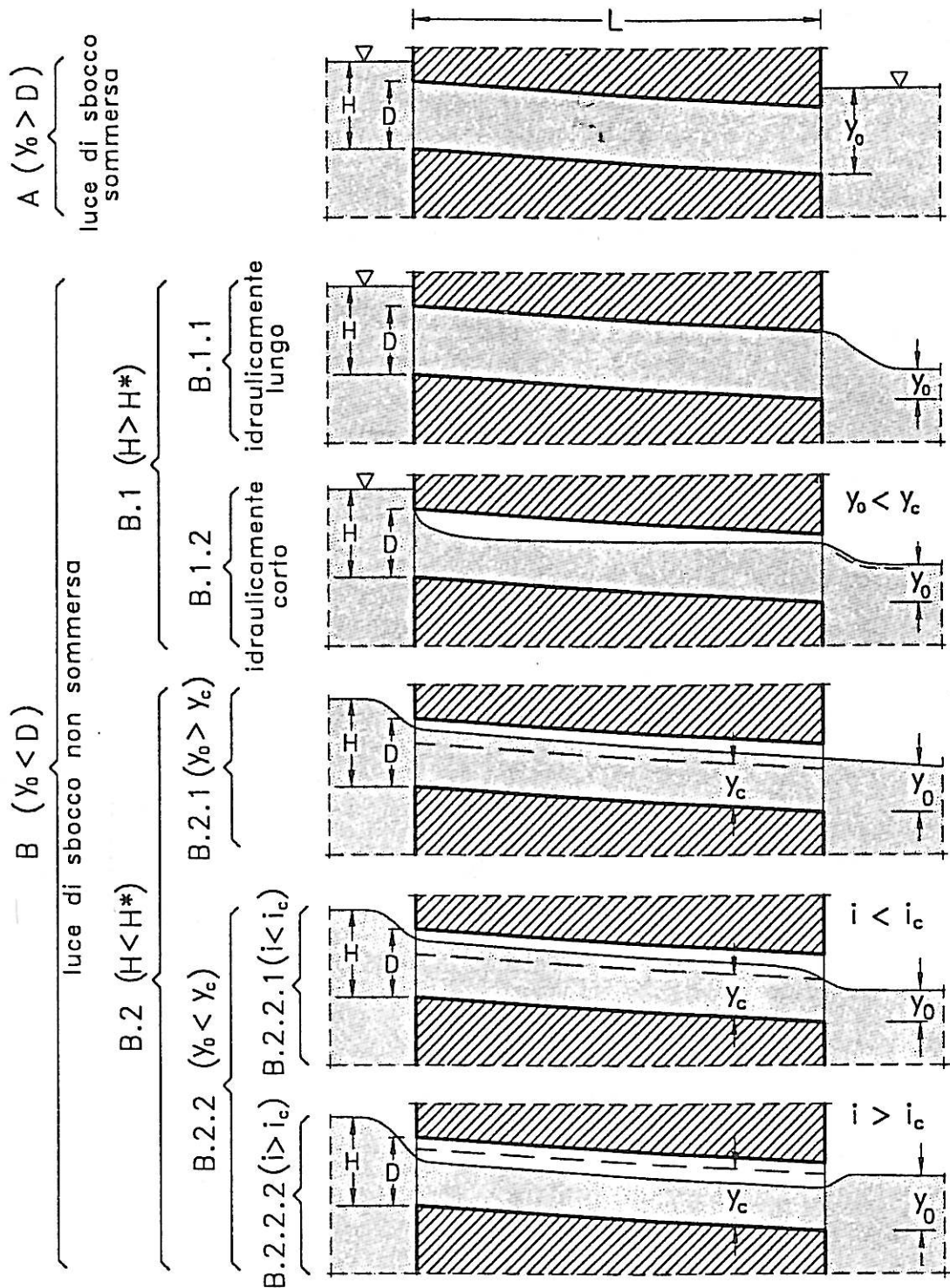


Figura 32 Possibili andamenti dei profili liquidi in un tombino (Da Deppo, L. Datei C., 1994).

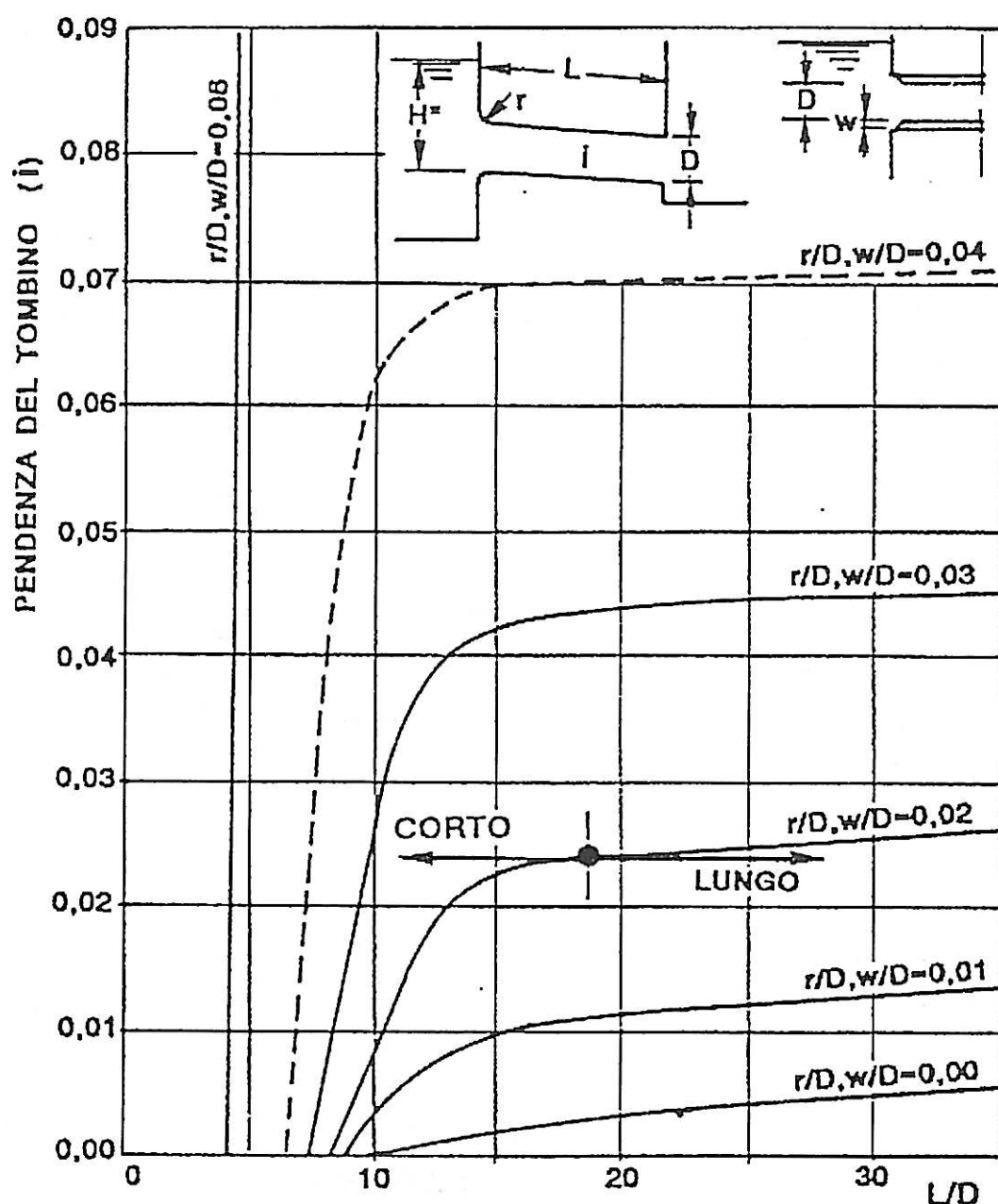


Figura 33 Criterio per stabilire se un tombino a sezione rettangolare o circolare con imbocco a spigolo vivo o smussato sia idraulicamente lungo o corto (Da Deppo, L. Datei C., 1994).

Schema di calcolo #11: efflusso sotto paratoie.

L'efflusso attraverso paratoie avviene in modi diversi a seconda della tipologia dell'organo. Tuttavia i vari casi si possono ricondurre alle condizioni di efflusso delle luci a battente o a stramazzo.

Nel caso di paratoie piane verticali, quando queste sono parzialmente sollevate, ovvero quando il contorno dell'apertura di efflusso è interamente sommerso sotto la superficie libera nel bacino a monte, la portata si calcola con la relazione vista nello schema di calcolo #3; con la precisazione che il carico h rappresenta la differenza di quota tra il pelo libero di monte ed il punto più alto della sezione contratta a valle della luce (figura 34).

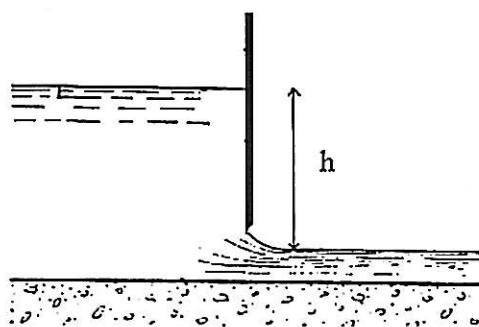


Figura 34

Per battenti² maggiori di 20 cm, si può assumere per il coefficiente d'efflusso μ il valore medio di 0,67. Se la soglia e le pareti laterali sono arrotondate in guisa da sopprimere ivi la contrazione, si può assumere per μ il valore di 0,7.

Se le paratoie sono completamente sollevate si applica lo schema di calcolo #1 o #4 secondo che l'opera non sia o sia rigurgitata. Se la soglia è sagomata secondo il profilo *Scimemi-Creager* valgono le considerazioni fatte allo schema di calcolo #1.2.

Sulle paratoie a settore parzialmente sollevate la portata effluente per unità di lunghezza si calcola con la seguente espressione:

$$q = C_q a \sqrt{2gh} \quad (38-a)$$

dove C_q è il coefficiente di portata pari a:

$$C_q = C_c \sqrt{\frac{1}{1 + C_c \frac{a}{h}}} \quad (38-b)$$

a l'altezza della luce a paratoia parzialmente sollevata, h il livello idrico a monte, α l'inclinazione tra la tangente al labbro inferiore della paratoia e l'orizzontale, R il raggio del settore e C_c il coefficiente di contrazione pari a 0,61. Il coefficiente di portata è indipendente da R (per lo meno per rapporti di R/a maggiori di 6) e fortemente dipendente da h/a e da α .

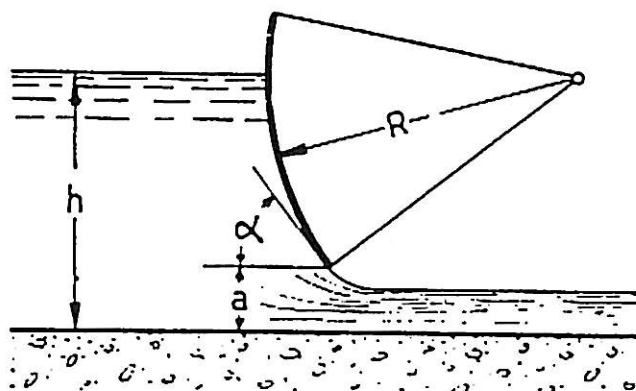


Figura 35

² Per battente si intende la differenza di quota tra il pelo libero di monte ed il punto più alto della luce.

Nella tabella seguente sono riportati i coefficienti di portata relativi a tale tipo di paratoia. Per l'applicazione ai casi pratici occorre verificare che sia effettivamente trascurabile ogni effetto di contrazione al fondo ed alle pareti.

Tabella 7

h/a	15°	20°	30°	50°	70°	90°
2,5	0,73	0,71	0,68	0,62	0,57	0,54
3	0,76	0,74	0,7	0,63	0,58	0,55
3,5	0,78	0,76	0,71	0,64	0,59	0,56
4	0,79	0,77	0,72	0,65	0,6	0,56
5	0,81	0,79	0,74	0,66	0,61	0,57
6	0,82	0,8	0,75	0,67	0,62	0,58
7	0,83	0,81	0,76	0,68	0,62	0,58
8	0,84	0,82	0,77	0,69	0,63	0,58

Nelle paratoie a ventola il profilo del bordo di tracimazione è di norma incurvato con la forma di un arco di cerchio (figura 15). Per il calcolo delle portate si applica la formula degli stramazzi. A parità di carico h , al variare della posizione della paratoia, viene a modificarsi la forma della soglia sfiorante e conseguentemente varia il coefficiente di efflusso. Secondo alcune esperienze compiute nel laboratorio dell'Istituto di Idraulica del Politecnico di Milano, i coefficienti di efflusso si aggirano intorno a 0,46 per paratoie orizzontali e salgono a 0,49 quando le paratoie sono inclinate da 32° a 50° sull'orizzontale (Contessini, 1953).

Schema di calcolo #12: Sfiatori laterali

Per l'alimentazione delle casse in derivazione si utilizzano sfiatori laterali posti in fregio agli argini di separazione delle opere con l'alveo. Per la forma della soglia sfiorante si adotta, ove possibile, il profilo Scimemi-Creager. Altrimenti, si può optare per un semplice abbassamento del ciglio arginale su un tratto di lunghezza opportuna. In questo caso il coefficiente di efflusso è quello dello stramazzo in parete grossa. La soglia deve essere protetta con gabbioni, materassi o altri rivestimenti che assicurino la stabilità dell'argine durante la fase di tracimazione.

Il dimensionamento viene effettuato con riferimento al valore di portata compatibile a valle Q_v . Il calcolo idraulico, viene spesso eseguito ipotizzando che l'energia specifica della corrente rimanga costante lungo lo sfioratore. Secondo la classica trattazione del De Marchi (1934)³, si pone:

$$E = y_o + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (39)$$

dove y_o è l'altezza di moto uniforme o permanente relativa alla portata Q . Se il moto si può ragionevolmente ritenere uniforme Q è calcolabile con la formula di Chezy più volte richiamata:

$$Q = \chi A \sqrt{Ri} \quad (40)$$

³ L'ipotesi di De Marchi è spesso accettabile in quanto la progressiva diminuzione della portata e la conseguente variazione di velocità lungo lo sfioratore non producono particolari dissipazione energetiche. Lo stramazzo infatti non dà luogo ad intensificazione di turbolenza rispetto alle condizioni esistenti in una corrente uniforme di analoghe caratteristiche.

Dalla (39) si ricava:

$$Q = A \sqrt{2g(E - y)} \quad (41)$$

Per ciascuna portata, la precedente è soddisfatta da due valori dell'altezza idrica y , corrispondenti rispettivamente al moto di corrente lenta e a quello di corrente veloce.

In genere gli sfioratori laterali vengono posti in tratti di alveo percorsi da correnti lente, risultando in questi casi buona la loro efficienza. A valle dello sfioratore viene di solito prevista un'opera trasversale in alveo (traversa, briglia o restringimento di sezione) in modo da elevare il pelo libero rispetto al piano campagna e ridurre localmente la pendenza del fondo.

Tale opera deve essere collocata in prossimità dello sfioratore in modo da ridurre la possibilità di errori progettuali connessi con le incertezze di calcolo del profilo di rigurgito. Per il calcolo del profilo vanno considerati sia il caso di briglia non interrita sia quello di briglia interrita tenendo presente che in assenza di manutenzione quest'ultima è la condizione più probabile. La pendenza di compensazione va calcolata secondo una delle formule proposte in letteratura (Benini O., 1985; Di Tella Bay, 1939; Romiti G., 1957).

È anche opportuno regolarizzare la sezione d'alveo per l'intero tratto interessato dallo sfioratore in modo da ottenere un funzionamento idraulico facilmente definibile e quindi una scala di deflusso affidabile. I calcoli relativi al profilo del pelo libero sullo sfioratore, iniziano nelle ipotizzate condizioni idrauliche di corrente lenta a partire dalla sezione di valle più estrema.

Quanto alla lunghezza L dello sfioratore necessaria a limitare la portata di valle al valore di progetto Q_v , viene ricercata la soluzione ottimale ripetendo la procedura di calcolo per differenti valori di quota p dello sfioratore.

Schema di calcolo #12.1 per sfioratori laterali

Se si ipotizza, un moto uniforme in corrente lenta e l'alveo è rettangolare di larghezza B , è possibile calcolare un valore di prima approssimazione della lunghezza L dello sfioratore con la seguente formula speditiva proposta da Citrini (1938) e valida nel seguente campo di valori di p/E_v :

$$0,85 \leq \frac{p}{E_v} \leq 0,95 \quad (42)$$

con p altezza dello sfioratore rispetto al fondo dell'alveo ed E_v energia specifica delle corrente a valle, calcolata secondo la (39) ponendo $y=y_v$ e $Q=Q_v$:

$$L = \frac{B}{\mu} \alpha \frac{y_2 - y_1}{E_v} \quad (43)$$

dove $y_2=y_v$ ed y_1 sono i livelli rispettivamente a valle e a monte dello sfioratore, μ è il coefficiente di efflusso funzione della geometria della soglia, E_v è l'energia specifica della corrente di valle e

$$\alpha = \frac{15}{0,97 - \frac{p}{E_v}} - 59,4 \quad (44)$$

è un parametro che caratterizza il sistema. Y_1 si calcola con la formula (41) ponendo $Q=Q_{maxi}$.

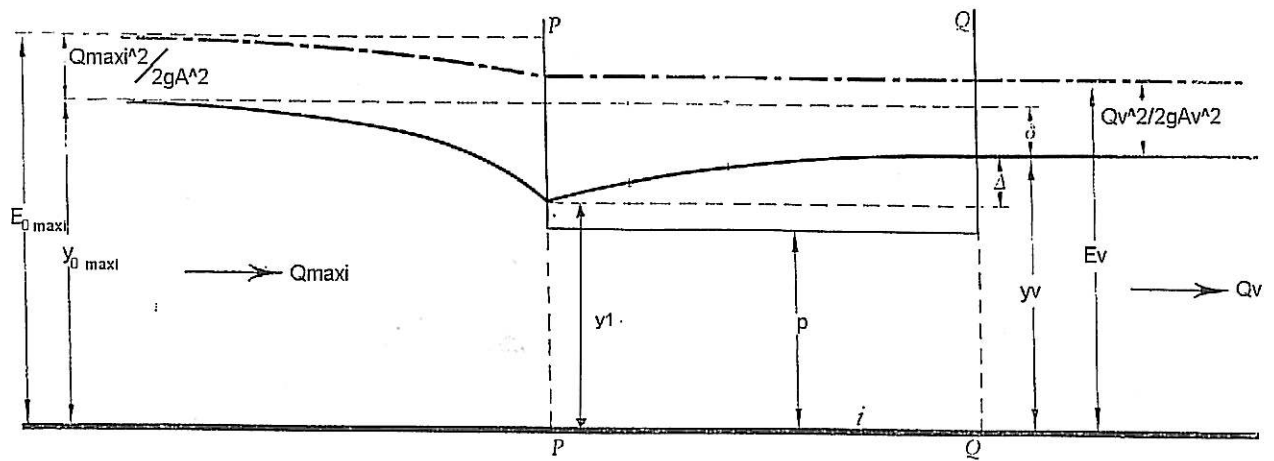


Figura 36 Schema di funzionamento per corrente lenta

Schema di calcolo #12.2 per sfioratori laterali

Il calcolo idraulico dello sfioratore laterale deve essere affinato ricorrendo a metodi più precisi. Di seguito vengono illustrati alcuni schemi di calcolo.

Nota la portata compatibile a valle Q_v , si calcola la corrispondente altezza di moto permanente o uniforme y_v e la relativa energia specifica E_v definita dalla (39). Il calcolo avviene quindi per passi discreti. Si considera un elemento di sfioratore di lunghezza Δx , e si calcola la portata sfiorante su di esso con la formula dello stramazzo ordinario e carico h_i corrispondente al livello locale sullo sfioratore:

$$\Delta Q_i = \mu \Delta x h_i \sqrt{2gh_i} \quad (45)$$

Nota ΔQ_i è possibile calcolare l'altezza successiva y_{i+1} ponendo nell'equazione (41) la portata:

$$Q_{i+1} = Q_v + \Delta Q_i \quad (46)$$

e risolvendo la (41) rispetto ad y_{i+1} .

La procedura viene ripetuta con i valori successivi di portata:

$$Q_{i+k} = Q_v + \sum_{i=1}^k \Delta Q_i \quad (47)$$

ove k denota il generico passo di discretizzazione. Si procede verso monte fino a quando la portata non eguaglia il valore Q_{maxi} corrispondente alla portata di piena in ingresso allo sfioratore.

È facile dimostrare come il calcolo appena descritto risulti assai sensibile al passo di discretizzazione spaziale Δx . È dunque possibile, in alternativa, procedere discretizzando, invece della lunghezza della soglia, i tiranti idrici scegliendo un conveniente passo di integrazione Δy . Partendo sempre dalla stessa altezza:

$$y_i = y_v \quad (48)$$

si considera l'altezza successiva

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y \quad (49)$$

e si calcola il corrispondente valore di portata

$$Q_{i+1} = A_i \sqrt{2g(E_v - y_{i+1})} \quad (50)$$

Si determina poi il valore

$$\Delta Q = Q_{i+1} - Q_i \quad (51)$$

e, determinato il carico sulla soglia h_{i+1} corrispondente all'altezza y_{i+1} si valuta infine il corrispondente valore

$$\Delta x_i = \frac{\Delta Q_{i+1}}{\mu h_{i+1} \sqrt{2g h_{i+1}}} \quad (52)$$

La procedura viene ripetuta fino al k -mo passo per il quale si ottiene un valore di Q pari a Q_{maxi} . La lunghezza dello sfioratore risulta in definitiva pari a:

$$L = \sum_{i=1}^k \Delta x_i \quad (53)$$

Schema di calcolo #12.3: per sfioratori laterali

Un metodo che garantisce livelli di approssimazione è il seguente.

Fissato il passo di discretizzazione spaziale Δx e posto ancora:

$$y_i = y_v \quad (54)$$

si fissa un valore di tentativo per la profondità y_k corrispondente all'estremo di monte dell'intervallo e si calcola la portata:

$$Q_k = A_k \sqrt{2g(E_v - y_k)} \quad (55)$$

Si calcola la quota parte di portata sfiorata ΔQ_k pari a $Q(y_k) - Q(y_i)$ e si valuta quindi il tirante idrico medio nell'intervallo Δx

$$y_m = \frac{y_i + y_k}{2} \quad (56)$$

il relativo carico sulla soglia h_m e si calcola il nuovo valore di portata:

$$\Delta Q_{k+1} = \mu \Delta x h_m \sqrt{2gh_m} \quad (57)$$

L'iterazione per il passo i -mo prosegue fino a che risulta:

$$|\Delta Q_k - \Delta Q_{k+1}| < \varepsilon \quad (58)$$

ove ε è la tolleranza di calcolo prefissata. A questo punto si pone

$$y_{i+1} = y_k \quad (59)$$

e si prosegue l'integrazione verso monte. Il processo si arresta fin tanto che non si ottiene un valore di portata Q_i pari a Q_{maxi} . La lunghezza della soglia risulta pari a:

$$L = i \Delta x \quad (60)$$

Alternativamente si può seguire questa strada: scelto il passo di discretizzazione spaziale Δx e posto ancora $y_i = y_v$, si fissa un valore di tentativo per la profondità y_k corrispondente all'estremo di monte e si calcola la portata sfiorata ΔQ_k utilizzando le equazioni (56) e (57).

Si calcolano poi la portata in alveo corrispondente al livello y_k con l'espressione:

$$Q_k = Q_i + \Delta Q_k \quad (61)$$

l'area A_k della sezione corrispondente al livello y_k , la velocità U_k con espressione:

$$V_k = \frac{Q_k}{A_k} \quad (62)$$

ed infine l'energia specifica E_k :

$$E_k = y_k + \frac{V_k^2}{2g} \quad (63)$$

la procedura al passo i viene iterata tentando nuovi valori di y_k fino a quando non si realizza la condizione:

$$|E - E_k| < \varepsilon \quad (64)$$

In relazione all'ultima procedura viene riportato un esempio di calcolo della lunghezza di uno sfioratore laterale che deve consentire l'abbattimento della portata di picco $Q_{maxi} = 100$ mc/s al valore di circa 62 mc/s.

In tabella 8 sono riportati i dati geometrici ed idraulici dell'alveo, in tabella 9 quelli relativi allo sfioratore ed in tabella 10 vengono mostrati i passi fondamentali per il calcolo della lunghezza. Per comodità di let-

tura della tabella 10 si ricorda che il verso positivo della coordinata spaziale x è da valle (dove la portata in alveo è di 61,6 mc/s) verso monte (dove prima dello sfioratore la portata in alveo è di 100 mc/s). La lunghezza dello sfioratore risulta essere di 15 m.

Tabella 8

B	10 m
i	0,001
K_s	35 (m ^{1/3} /s)
y_v	3,46 (m)
E_v	3,62 (m)

Tabella 9

Passo di discretizzazione Δx	0,25 m
Quota della soglia p	2 m

Tabella 10

x [m]	y [m]	h [m]	Qk [mc/s]	DQk [mc/s]	Ak [mq]	Uk [m/s]	Froude [-]	E-Ek [m]
0,000	3,460	1,46	61,60	0,00	34,6	1,78	0,31	0,00
0,250	3,460	1,46	61,60	0,78	34,6	1,78	0,31	0,00
0,500	3,455	1,46	62,38	0,78	34,6	1,81	0,31	0,00
0,750	3,451	1,45	63,16	0,78	34,5	1,83	0,31	0,00
1,000	3,446	1,45	63,94	0,77	34,5	1,86	0,32	0,00
1,250	3,441	1,44	64,71	0,77	34,4	1,88	0,32	0,00
1,500	3,436	1,44	65,48	0,77	34,4	1,91	0,33	0,00
1,750	3,432	1,43	66,25	0,76	34,3	1,93	0,33	0,00
2,000	3,427	1,43	67,01	0,76	34,3	1,96	0,34	0,00
2,250	3,422	1,42	67,77	0,75	34,2	1,98	0,34	0,00
2,500	3,417	1,42	68,53	0,75	34,2	2,01	0,35	0,00
2,750	3,411	1,41	69,28	0,75	34,1	2,03	0,35	0,00
3,000	3,406	1,41	70,02	0,74	34,1	2,06	0,36	0,00
3,250	3,401	1,40	70,77	0,74	34,0	2,08	0,36	0,00
3,500	3,396	1,40	71,51	0,73	34,0	2,11	0,36	0,00
3,750	3,390	1,39	72,24	0,73	33,9	2,13	0,37	0,00
4,000	3,385	1,39	72,97	0,73	33,8	2,16	0,37	0,00
4,250	3,379	1,38	73,70	0,72	33,8	2,18	0,38	0,00
4,500	3,374	1,38	74,42	0,72	33,7	2,21	0,38	0,00
...
15	3,080	1,08	100,37	0,50	30,8	3,26	0,59	0,00

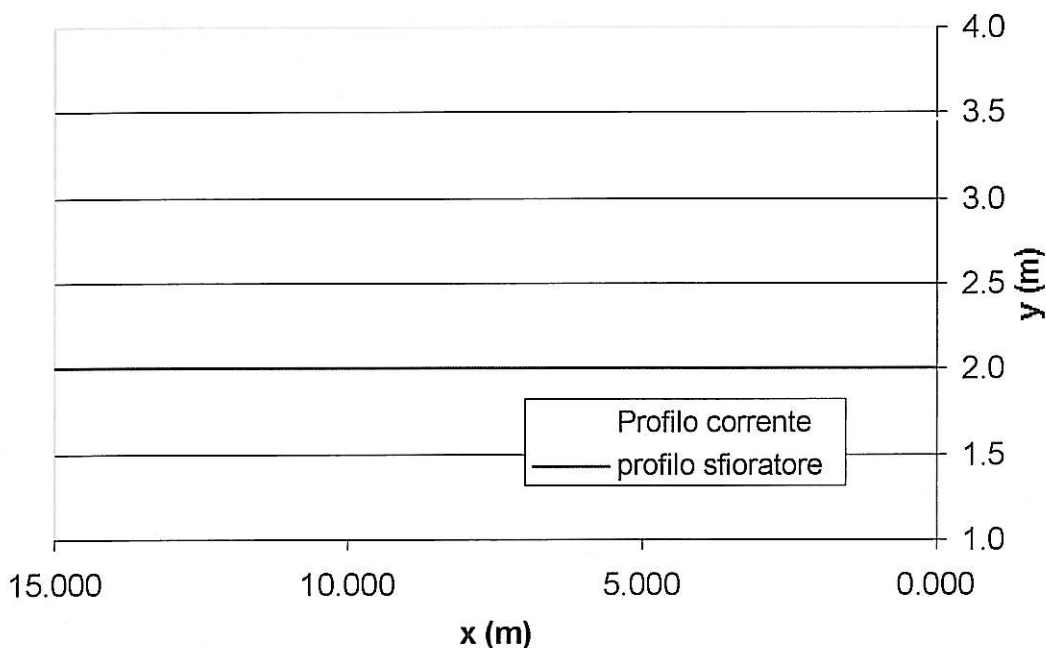


Figura 37

Schema di calcolo #12.4: sfioratori rigurgitati

Nel caso si verifichi una piena di tempo di ritorno superiore a quello di progetto, può accadere che il livello idrico nella cassa verifichi la condizione espressa dalla (21). In questo caso lo sfioratore viene rigurgitato e conseguentemente il calcolo idraulico deve essere condotto con le formule dell'efflusso rigurgitato (schema #4):

$$\Delta Q = \mu \Delta x h \sqrt{2gh} + \mu 1 \Delta x \delta \sqrt{2gh} \quad (65)$$

dove h è differenza tra livello idrico nella cassa e livello del fiume, e δ è la differenza tra il livello idrico del fiume e la quota della soglia.

Nella fase discendente dell'onda di piena, il livello del fiume cala e, se il livello nella cassa risulta superiore, il moto si inverte e una portata calcolabile con l'espressione (65) fluisce dalla cassa verso l'alveo.

Considerazioni sul funzionamento degli sfioratori laterali.

Nella progettazione degli sfioratori laterali è bene verificare che nel tronco di alveo interessato dall'opera non si verifichi la formazione del risalto idraulico. Tale fenomeno potrebbe instaurarsi se il livello idrico y si approssima a quello dello stato critico y_c oltre il quale si ha il passaggio da corrente lenta a veloce. Questa verifica consiste nel controllare che la capacità massima dell'alveo Q_m corrispondente all'energia specifica di valle E_v sia superiore a quella di monte Q_{maxi} .

Dato che in condizioni critiche si ha:

$$\frac{A^3}{B} = \frac{Q^2}{g} \quad (66)$$

è possibile esplicitare la portata e combinarla con la formula del moto uniforme per ottenere Q_m . Nel caso di alveo rettangolare si ottiene:

$$Q_m = \frac{2}{3\sqrt{3}} B E_v \sqrt{2gE_v} \quad (67)$$

ove B è la larghezza dell'alveo.

Nel caso in cui $Q_m < Q_{max i}$ è necessario ridimensionare l'opera trasversale allo scopo di aumentare l'energia specifica con cui la corrente giunge a monte della soglia.

Dal punto di vista del calcolo idraulico è necessario costruire il profilo di rigurgito a partire dalla sezione dove è collocata l'opera fino alla sezione di valle dello sfioratore in modo da poter stabilire l'altezza y_v corrispondente alla portata Q_v .

In fase di simulazione del funzionamento idraulico della cassa in derivazione, le condizioni di valle non sono note. È quindi necessario procedere al calcolo della portata sfiorata, con gli schemi visti in precedenza, ipotizzando un primo valore di portata a valle dello sfioratore Q_v .

Se la portata calcolata a monte dello sfioratore coincide con quella dell'idrogramma di piena al tempo t , la procedura viene arrestata; altrimenti è necessario ripetere i calcoli con un nuovo valore di Q_v .

L'ipotesi di De Marchi consente di svolgere la progettazione dello sfioratore laterale in maniera semplice e veloce; tuttavia in situazioni progettuali particolarmente complesse è più prudente svolgere la trattazione matematica, che regola il processo di efflusso al di sopra dello sfioratore, in maniera più completa e dettagliata. Si tratta in sostanza di rimuovere l'ipotesi di De Marchi di liquido perfetto e portando in conto quindi le perdite di carico lungo lo sfioratore.

Le equazioni che regolano questo processo di moto sono:

$$E_x = y_x + \frac{Q_x^2}{2 \cdot g \cdot A_x^2} = E_v + \int_0^x \frac{Q_x^2}{A_x^2 \cdot \chi_x^2 \cdot R_x} dx - i \cdot x \quad (68)$$

$$Q_x = Q_v + \int_0^x \mu \cdot (h_x)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot dx \quad (69)$$

Dove E_x e Q_x rappresentano rispettivamente l'energia specifica e la portata a distanza x dall'estremo di valle ed i la pendenza dell'alveo.

Nel caso in cui l'alveo in cui è posto lo sfioratore è a forte pendenza, i calcoli vengono svolti con lo stesso procedimento, ma procedendo da monte verso valle. Se si considera valida l'ipotesi di De Marchi, l'energia specifica assunta costante lungo lo sfioratore è pari a quella posseduta dalla corrente defluente nella sezione immediatamente a monte dello sfioratore:

$$E_{max i} = y_{max i} + \frac{Q_{max i}^2}{2gA_{max i}^2} \quad (70)$$

Il profilo idrico di raccordo tra l'altezza idrica nella sezione immediatamente a valle dello sfioratore e l'altezza di moto uniforme corrispondente alla portata Q_v viene calcolato al solito con l'equazione delle correnti lineari a pelo libero in moto permanente: esso risulta essere di tipo F2 (Citrini D., Nosedà G., 1994).

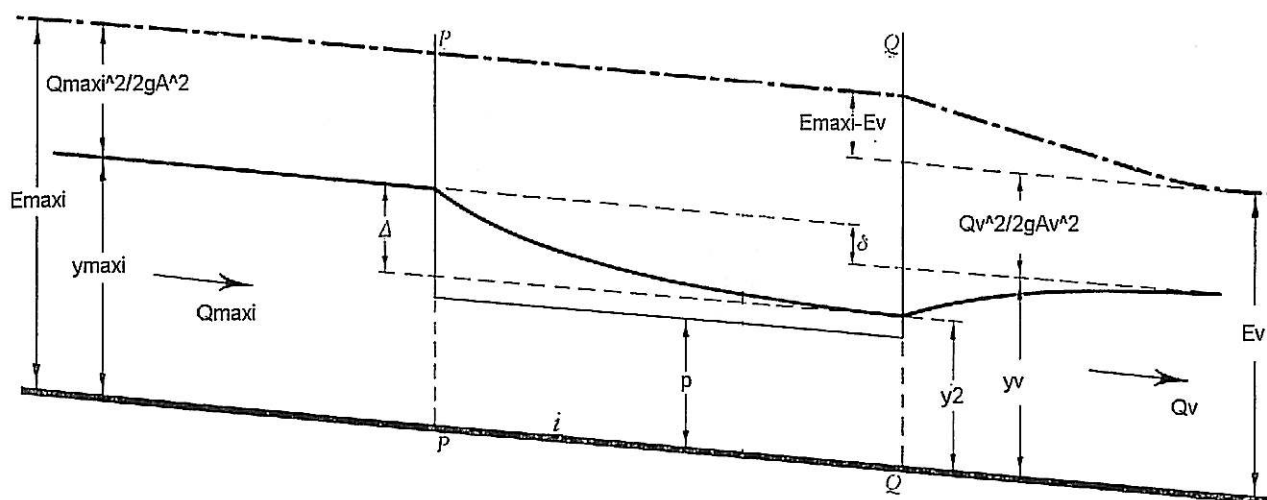


Figura 38 Schema di funzionamento in corrente veloce

Si può osservare che a parità di Q_v , Q_{maxi} ed L il profilo sullo sfioratore risulta crescente da monte a valle nel caso di correnti lente e decrescente nel caso di correnti veloci.

Deriva da ciò che nel caso di correnti veloci sullo sfioratore si ha una modesta efficienza dell'opera.

Per questo motivo è necessario, per quanto possibile, ricondurre il flusso in condizioni di corrente lenta tramite un'opera trasversale che, posta a valle dello sfioratore, ne provochi il rigurgito. In questo caso la presenza di risalito è inevitabile, occorrerà quindi progettare lo sfioratore e l'opera trasversale in modo che il risalito sia a monte della soglia sfiorante. Il profilo che si realizza tra il manufatto e l'estremo di valle dello sfioratore è di tipo F3.

Riferimenti Bibliografici

- Benini O. *Sistemazioni idraulico forestali*. Padova. (1985).
- Brath A., Maione U. *La sistemazione dei corsi d'acqua montani* In *La difesa idraulica del territorio*. Brath A. e Maione U. Editors. Atti del corso di aggiornamento 7-11 ottobre 1996. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Castelli F., Manciola P., *Un criterio di dimensionamento degli sfioratori laterali per le casse di espansione fluviale*. In *XXVI Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche*. Catania, 9-12 settembre 1998, CUECM, Catania (1998).
- Chow V.T., *Open channel Hydraulics*, Mc Graw Hill, New York (1959).
- Citrini D., *Ricerca di una formula semplificata per il dimensionamento pratico degli stramazzi longitudinali*, L'energia elettrica, settembre, 1938.
- Citrini D., Nosedà G., *Idraulica*, Casa editrice Ambrosiana, Milano (1994).
- Contessini F., *Dighe e traverse*. Ed. Politecnica Tamburrini, Milano (1953).
- Da Deppo L., Datei C., *Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali*. Editoriale Bios, Cosenza (1994).
- De Marchi G., *Scritti di Giulio De Marchi*, Tamburini Editore, Milano (1965).
- De Marchi G., *Saggio di teoria del funzionamento degli stramazzi laterali (o sfioratori longitudinali)*. L'energia Elettrica, Vol XI, novembre 1934, (1934).
- Di Tella-Bay. *Le sistemazioni idraulico forestali*. Le correzioni di torrenti. Roma (1939).

- French R.H., *Open channel Hydraulics*, Mc Graw Hill, New York (1985).
- Horton R. E., *Weir experiments, coefficientes, and formulas*, Government Printing Office, Washington (1907).
- Lazzari F., *Analisi dimensionale e scala di deflusso degli stramazzi in parete grossa*, Giornale del Genio civile (1993).
- Lazzari F., *Formula generale della portata in foronomia*, Giornale del Genio civile, (1993).
- Marchi E., Rubatta A., *Meccanica dei fluidi*, Utet, Torino (1996).
- Marone V., *Coefficienti d'efflusso degli sfioratori longitudinali*, L'energia elettrica, gennaio 1964.
- Mignosa P., Tomirotti M., *Interferenza tra infrastrutture di trasporto e corsi d'acqua*. In La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati. Maione U., Brath A. editors. Editoriale Bios, Cosenza (1998).
- Romiti G., *Sistemazioni dei bacini montani*. Torino. (1957).
- Rozgar B., *Design of diversion weirs*, Wiley, Baffins Lane (1995).
- C. K. Sehgal., *Design Guidelines for Spillway Gates*, Journal of Hydraulic Engineering, March 1996.
- U.S. Departement of Interior. *Design of small canal structures*, Denver CO (1983).
- U.S. Department of Commerce. *Design of roadside drainage channels*. Washington (1965).
- U.S. Department of Transportation. *Design of roadside drainage channels*. Hydraulic Engineering Circular n° 12, Washington D.C., March 1984.

APITOLO 7

OPERE TRASVERSALI

1. Premessa

Le opere trasversali sono manufatti idraulici posti in alveo in direzione generalmente normale a quella della corrente fluviale col fine di modificarne i caratteri naturali per scopi diversi. Le opere più comuni appartenenti a questa categoria sono le traverse fluviali e le briglie. Le prime vengono utilizzate per innalzare il pelo libero allo scopo di permetterne la derivazione di tutta o parte della portata defluente in alveo e di creare una capacità di invaso da utilizzare per varie applicazioni: laminazione delle piene, regolazione della portata per fini irrigui, industriali, civili, produzione di energia elettrica, ecc. Le seconde vengono utilizzate per la sistemazione degli alvei montani allo scopo principale di controllare i fenomeni di trasporto solido e di erosione degli alvei.

Entrambe queste opere possono essere utilizzate a valle delle casse di espansione per creare un invaso, nel caso delle casse in linea, o per produrre un rigurgito della corrente in modo da migliorare il funzionamento della luce che connette la cassa con l'alveo, nel caso delle casse in derivazione.

2. Le traverse fluviali

A norma del D.P.R. 1363 dell'1-11-59, le traverse fluviali sono soggette al Regolamento Dighe solo se di altezze superiori a 10 metri o con volumi maggiori di 100000 mc. La legge 584 del 21-10-1994 definisce poi la soglia di 15 metri e di 1000000 mc per l'individuazione delle competenze del Servizio Dighe.

I materiali in genere utilizzati per la realizzazione delle traverse sono calcestruzzo semplice o armato e gabbioni metallici.

Le traverse si possono distinguere in mobili e fisse secondo che siano fornite o meno di organi di regolazione, in genere paratoie di vario tipo.

In una traversa fissa si distinguono una parte anteriore, o corpo di ritenuta, e una posteriore, o platea, disposta a quota uguale o di poco inferiore a quella dell'alveo.

Poiché la stabilità dell'opera è fortemente condizionata dalle sottopressioni derivanti dal moto di filtrazione che si instaura al di sotto della platea, nelle sezioni estreme di monte e di valle di essa vengono inseriti diaframmi o taglioni (Figura 1).

Il corpo di ritenuta deve avere il profilo di valle raccordato gradualmente alla platea, se l'altezza supera il metro, mentre può essere verticale per altezze inferiori. Questa regola deriva dalla considerazione che nel salto verticale della vena liquida si suscitano sulla platea sollecitazioni che potrebbero danneggiare la platea stessa. Per contro un profilo raccordato - in genere con la forma di Scimemi-Creager - seguito da un bacino di dissipazione consente alla corrente di rimanere adagiata al paramento e di dissipare l'energia sovrabbondante in maniera più efficace.

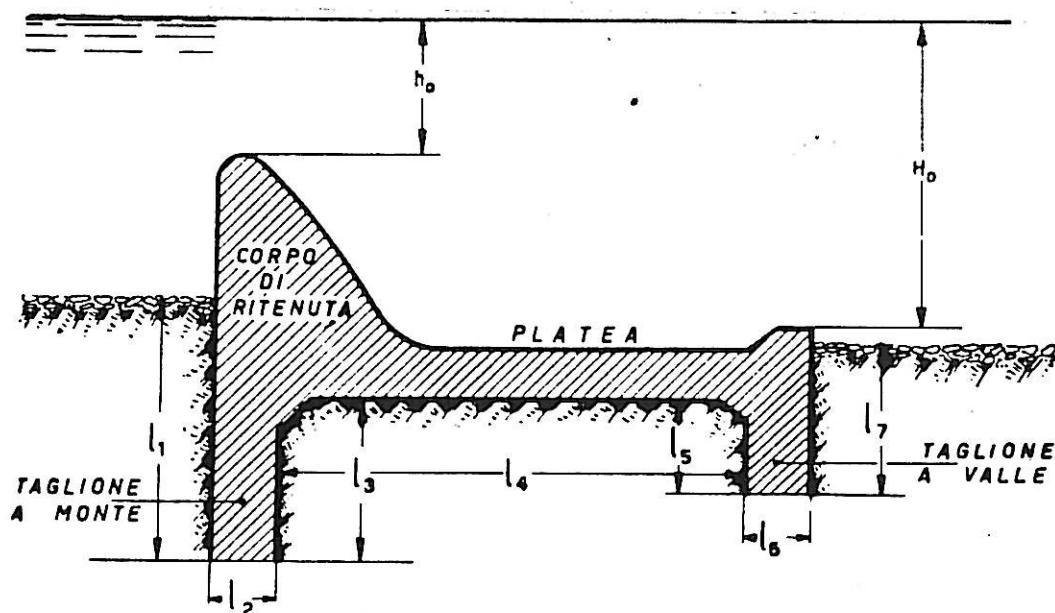


Figura 1 Sezione tipo di una traversa fluviale (Contessini, 1953)

Il dimensionamento idraulico di una traversa comporta il calcolo dell'altezza H rispetto al fondo dell'alveo del corpo di ritenuta, e le dimensioni delle varie luci.

Queste grandezze vengono fissate per tentativi con i metodi indicati al capitolo 1 paragrafo 3.2 e capitolo 6 paragrafo 2.1 per le casse in linea e capitolo 6 paragrafo 2.2 per le casse in derivazione.

Per il dimensionamento statico del corpo di ritenuta della traversa si suppone inizialmente per semplicità che essa abbia una sezione trapezoidale (figura 2). Successivamente vengono svolte le verifiche di stabilità considerando la reale conformazione dell'opera.

I calcoli vengono svolti valutando la spinta idrostatica S per un livello d'acqua pari ad h_0 al di sopra del ciglio sfiorante, il peso P della traversa e la sottospinta S_s .

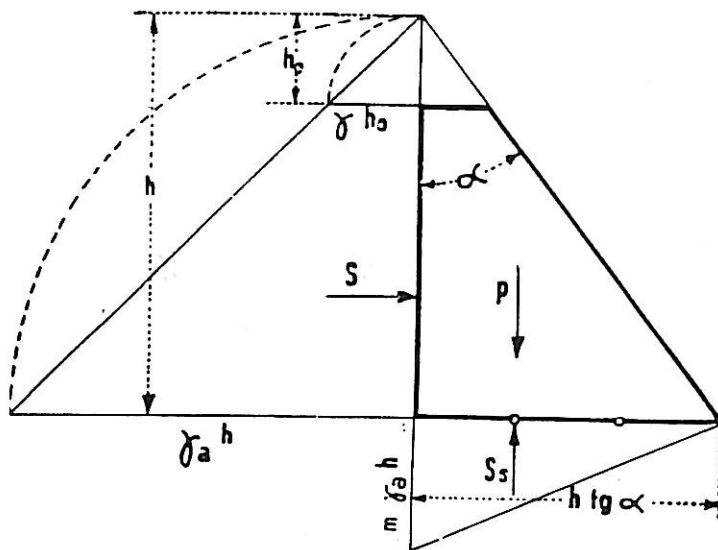


Figura 2 Schema per il dimensionamento di massima (Contessini, 1953)

Per la stabilità di questo elemento strutturale occorre che la risultante di tutte le forze sia interna al nocciolo centrale d'inerzia, e cioè che sia al più nullo il momento di tutte le forze dette rispetto allo stesso punto. In questo modo è possibile ricavare l'inclinazione del paramento di valle, $\text{tg}\alpha$:

$$\text{tg}\alpha \geq \sqrt{\frac{C_2}{C_1 \frac{\gamma_m}{\gamma_a} - m}} \quad (1)$$

Dove γ_m è il peso specifico del materiale costituente il muro, γ_a quello dell'acqua, m il coefficiente di sottospinta, funzione della natura delle rocce di imposta, della struttura e della permeabilità all'acqua della superficie di contatto tra struttura e terreno: quanto più permeabile all'acqua è tale superficie di contatto tanto più prossimo a 0 è il valore del parametro m . C_1 e C_2 sono funzioni del rapporto h_0/h . Nella seguente tabella sono mostrati i valori di C_1 , C_2 e di $\text{tg}\alpha$ per $\gamma_m/\gamma_a=2,25$.

Tabella 1

h ₀ /h	C ₁	C ₂	tga			
			m=0	m=0,5	m=0,75	m=1
0	1	1	0,667	0,758	0,819	0,898
0,05	0,995	0,993	0,666	0,755	0,817	0,894
0,1	0,981	0,972	0,664	0,754	0,817	0,897
0,15	0,958	0,939	0,660	0,753	0,817	0,901
0,2	0,928	0,896	0,655	0,751	0,818	0,907
0,25	0,891	0,844	0,649	0,749	0,820	0,916
0,3	0,847	0,784	0,641	0,747	0,824	0,930
0,35	0,798	0,718	0,630	0,744	0,829	0,950
0,4	0,744	0,648	0,622	0,743	0,837	0,980
0,45	0,686	0,575	0,610	0,742	0,851	1,027
0,5	0,625	0,5	0,596	0,743	0,873	1,109
0,55	0,561	0,425	0,580	0,747	0,911	
0,6	0,496	0,352	0,562	0,756	0,981	
0,65	0,430	0,282	0,540	0,777		
0,7	0,363	0,216	0,514	0,826		
0,75	0,297	0,156	0,483			
0,8	0,232	0,104	0,446			

Una volta noto il valore di $\text{tg}\alpha$ si tratta di adattare al profilo trovato il profilo Scimemi Creager. Occorre infine assicurarsi definitivamente delle condizioni statiche, verificando la struttura con gli usuali metodi statici (vedi ad esempio Datei, 1976).

I calcoli statici sono finalizzati a verificare:

- 1) l'intera costruzione allo scorrimento;
- 2) che la distribuzione delle pressioni nella base d'appoggio dell'opera sia tale per cui la risultante di essa cada entro il terzo medio della sezione ed il più vicino possibile al punto medio di questa;

3) che le pressioni massime non superino il carico ammissibile del terreno;

4) che la sezione non sia parzializzata, non devono cioè esistere punti in cui le pressioni calcolate sono minori di zero;

5) che le sollecitazioni massime nelle sezioni della platea soggette a flessione siano minori delle massime ammissibili per il calcestruzzo; questa verifica deve essere condotta considerando le condizioni di carico più sfavorevoli.

La lunghezza della platea può essere calcolata con la seguente espressione semi empirica (Figura 1):

$$L_t = l_2 + l_4 + l_6 \cong (2 + 3) \cdot H_o \quad (2)$$

che garantisce contro l'instaurarsi di fenomeni di sifonamento (v. Capitolo 5).

In prosecuzione della platea è opportuno designare presidi contro il rischio di erosioni del fondo alveo (ad esempio una massicciata in pietrame a secco).

3. Le briglie

Le briglie sono opere idrauliche normalmente usate allo scopo di controllare il fenomeno del trasporto solido.

Nel caso in cui vengano utilizzate nelle casse di espansione, esse svolgono una funzione analoga a quella delle traverse, ovvero provocano il rigurgito della corrente verso monte che, nel caso di casse in derivazione, consente di ottimizzare il funzionamento della soglia di sfioro della portata dall'alveo alla cassa e nel caso di casse in alveo, consente di ricevere i volumi necessari alla laminazione delle piene.

Le briglie a gravità, possono avere varia tipologia. Esse reagiscono alle sollecitazioni a cui sono sottoposte col proprio peso; possono essere realizzate con materiali e tecniche diverse: legname e pietrame (figura 3), pietrame a secco, pietrame legato con malta cementizia (figura 4), calcestruzzo (figura 5), gabbioni, massi ciclopici. Le briglie in gabbioni e in massi ciclopici sono impiegate talvolta in alvei con materiali alluvionali, allorché possono verificarsi cedimenti del terreno a cui resistono agevolmente potendosi adattare alle deformazioni causate da cedimenti delle fondazioni.

Le briglie di una certa importanza possono essere realizzate in cemento armato (figura 8). Il tipo più frequentemente impiegato è quello a mensola che assicura la stabilità attraverso il peso che sovrasta lo sporto a monte. Le strutture in c. a. sono più snelle rispetto a quelle a gravità e pertanto possono presentare vantaggi dal punto di vista dell'inserimento ambientale.

Il paramento a valle della briglia a gravità è in genere verticale mentre quello di monte è inclinato e a volte, per motivi costruttivi, a gradoni.

Le briglie ad arco scaricano parte delle sollecitazioni a cui sono sottoposte sulle sponde. Il loro spes-

sore viene calcolato in prima approssimazione con la formula di Moriotte:

$$b = p \cdot \frac{r}{\sigma} \quad (3)$$

dove p è la pressione che agisce sul paramento in corrispondenza del punto centrale al generico arco in cui viene scomposta l'intera struttura e s è la tensione ammissibile a compressione il cui valore è compreso tra 2,5 e 3 Mpa.

Tale spessore non è però sufficiente in corrispondenza del coronamento che deve quindi essere maggiorato rispetto al valore derivante dal calcolo. (figura 6).

Negli alvei argillosi trovano particolare applicazione le briglie in terra. Poiché le strutture in terra non possono essere sormontate dall'acqua è necessario realizzare nel corpo della briglia uno scaricatore, costituito da uno scivolo rivestito con lastre in calcestruzzo o pietrame (figura 7).

Recentemente vanno sempre più diffondendosi le briglie così dette permeabili o aperte, che presentano nel corpo una o più aperture di varia forma. Scopo di tali aperture è quello di selezionare il materiale solido trasportato dalla corrente, in modo che il materiale più fine transiti a valle attraverso le aperture, mentre quello di dimensione maggiore venga trattenuto a monte della struttura.

In questo modo la rimozione del materiale può avvenire, almeno in una certa misura, spontaneamente; infatti il materiale solido depositato durante una certa piena tende ad essere eroso già nella fase di esaurimento di quest'ultima. E' però frequente il caso in cui i meccanismi di autopulizia non risultino sufficientemente efficienti e pertanto la briglia si interrisce anche se in tempi superiori rispetto alle briglie classiche (figura 9).



Figura 3 Briglia in legname e pietrame (Maione U., 1998)

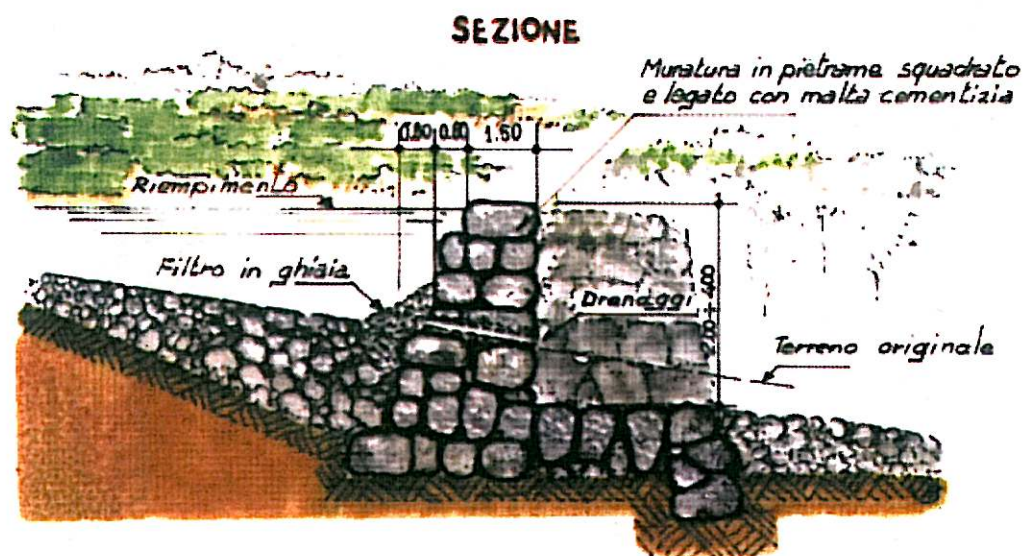
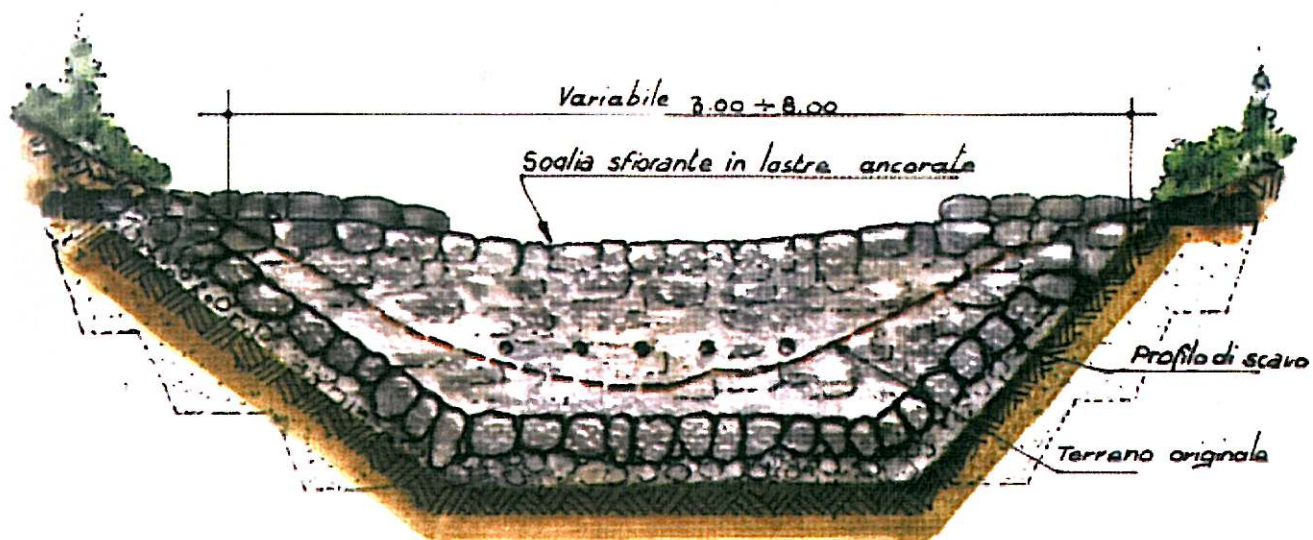


Figura 4 Briglia in pietrame e malta (Maione U., 1998)

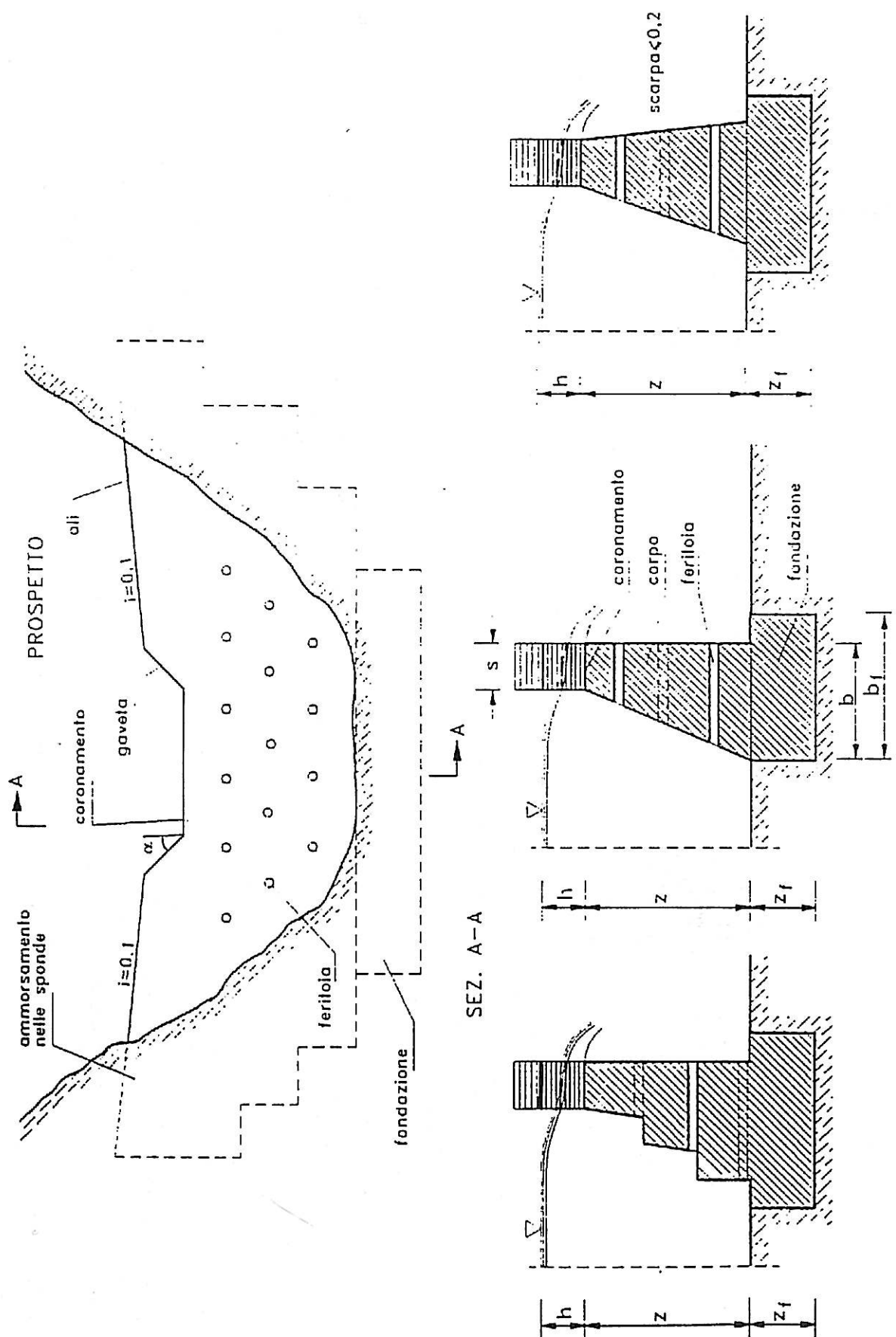
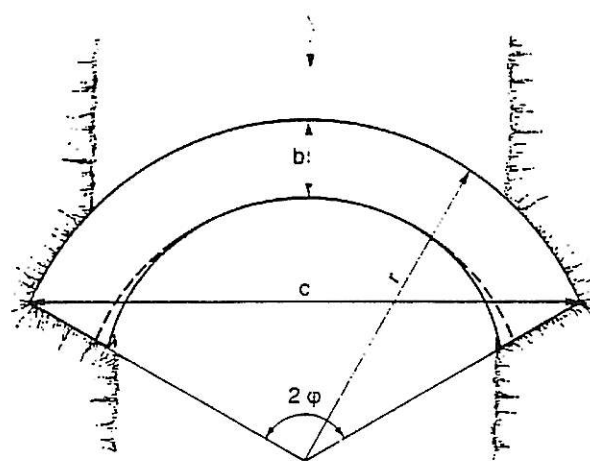
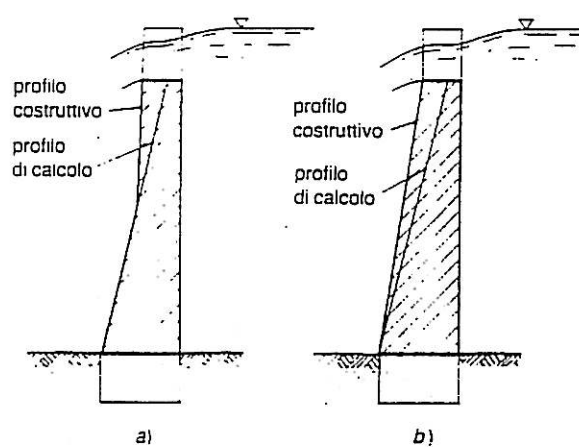


Figura 5 Briglia a gravità in calcestruzzo o pietrame (Benini,1995)



Pianta



Sezioni

Figura 6 Briglia ad arco (Benini, 1995)

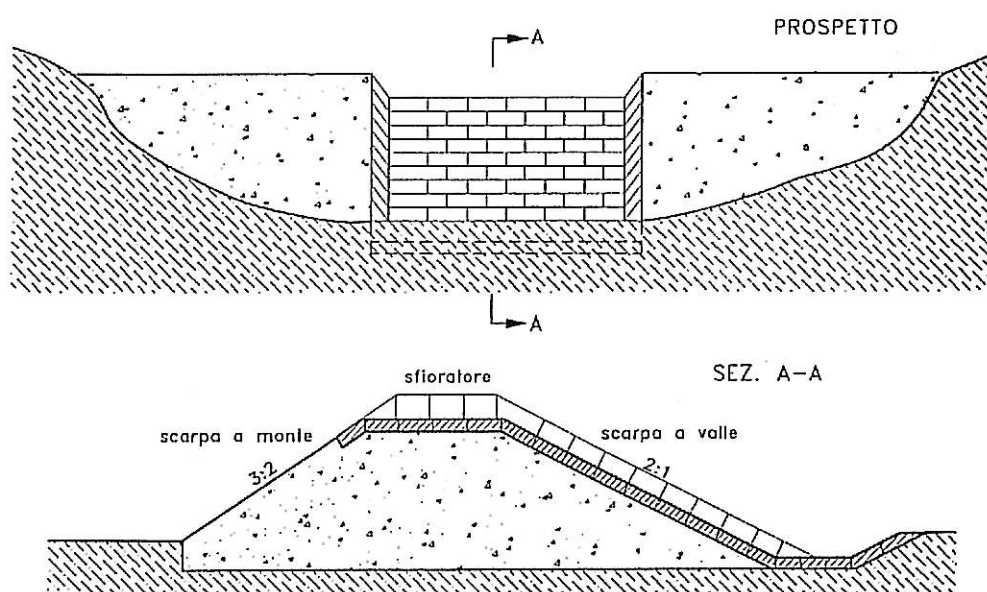


Figura 7 Briglia in terra (Benini, 1995)

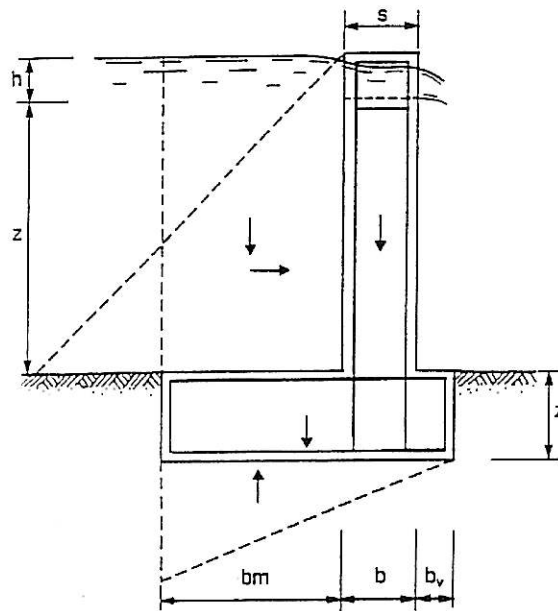
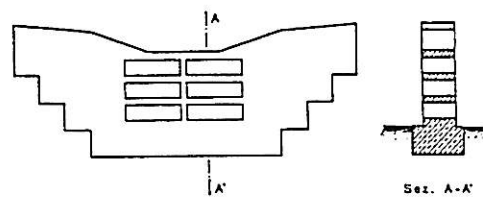
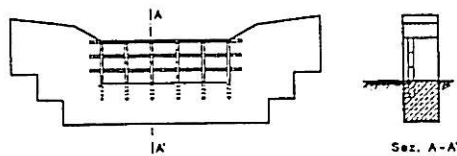


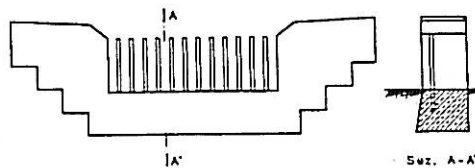
Figura 8 Briglia a mensola (Benini, 1995)



tipo a finestra



tipo reticolato



tipo a pettine

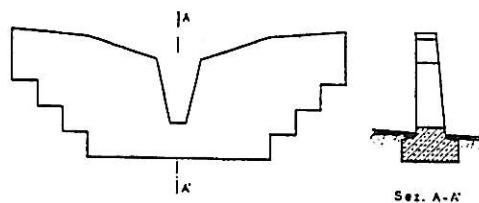


Figura 9 Tipologie di briglie aperte (Brath A., Maione U., 1997)

Il dimensionamento idraulico delle briglie viene effettuato stabilendone l'altezza H , la forma nonché le dimensioni delle eventuali luci di fondo funzionanti a battente, nonché le dimensioni della gaveta.

Per una gaveta con sponde inclinate di α rispetto alla verticale, considerando che il funzionamento idraulico è quello degli stramazzi in parete grossa, la scala di efflusso è data dall'espressione:

$$Q = \frac{\mu}{15} [11b + 4(2h \tan \alpha + b)] h \sqrt{2gh} \quad (4)$$

dove h è il carico sulla soglia b è la base della gaveta, μ è il coefficiente di efflusso assunto normalmente pari a 0,385 (figura 5).

Le grandezze H , α e b vengono scelte, mediante calcoli idraulici, imponendo che la gaveta possa contenere la portata al colmo di piena e, nel caso delle casse in linea, che con i volumi disponibili a tergo della briglia, la scala di deflusso garantisca l'effetto di laminazione voluto.

Nella figura 10 vengono mostrate le due scale di deflusso per valori di α rispettivamente di 40 e -30 gradi (gaveta rovesciata).

Si può osservare come al crescere di h le scale tendano a divergere; le portate uscenti nel secondo caso, come era d'altra parte logico attendersi, risultano inferiori a parità di h . Come già si è detto, questa caratteristica migliora l'efficacia della laminazione delle casse in alveo rispetto al primo caso, in quanto viene trattenuto nella cassa un volume maggiore quando le portate in ingresso sono elevate ovvero proprio quando si ha la necessità di una laminazione più efficiente.

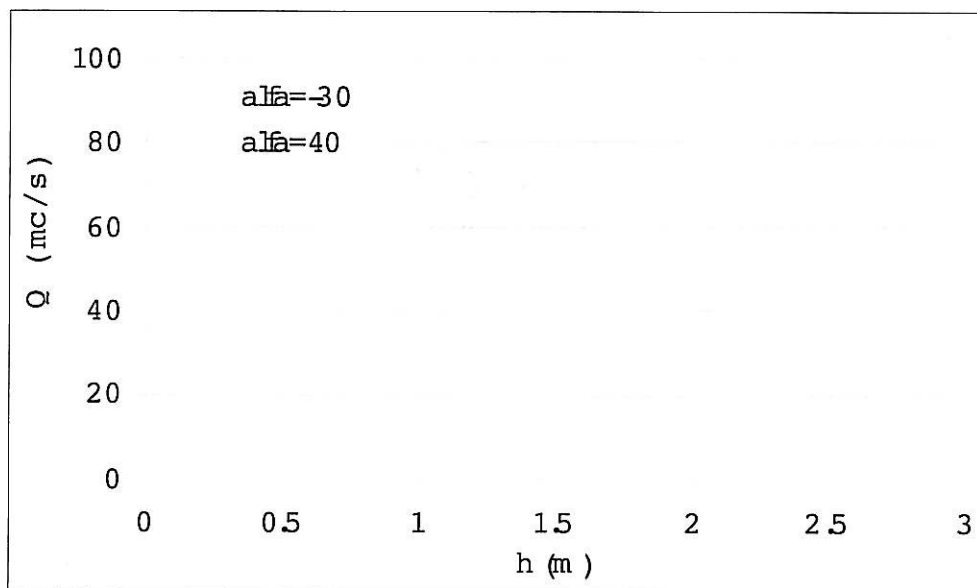


Figura 10

Il dimensionamento statico di una briglia viene effettuato calcolando i seguenti fattori di sicurezza:

$$FS = \frac{F_{res}}{F_{destab}} \quad (5)$$

$$FS = \frac{M_{res}}{M_{destab}}$$

Il primo verifica la struttura allo scorrimento e rappresenta il rapporto tra le forze resistenti e quelle stabilizzanti; il secondo verifica la struttura al ribaltamento e rappresenta il rapporto tra i momenti stabilizzanti e quelli ribaltanti. Nel primo caso vanno accettati valori maggiori od uguali ad 1,3; nel secondo maggiori od uguali ad 1,5.

E' inoltre necessario disegnare il diagramma degli sforzi normali in corrispondenza della base della briglia, verificando che la sezione non sia parzializzata e che lo sforzo normale massimo sia inferiore al carico ammissibile del terreno.

Lo schema delle forze in gioco è presentato nella figura seguente.

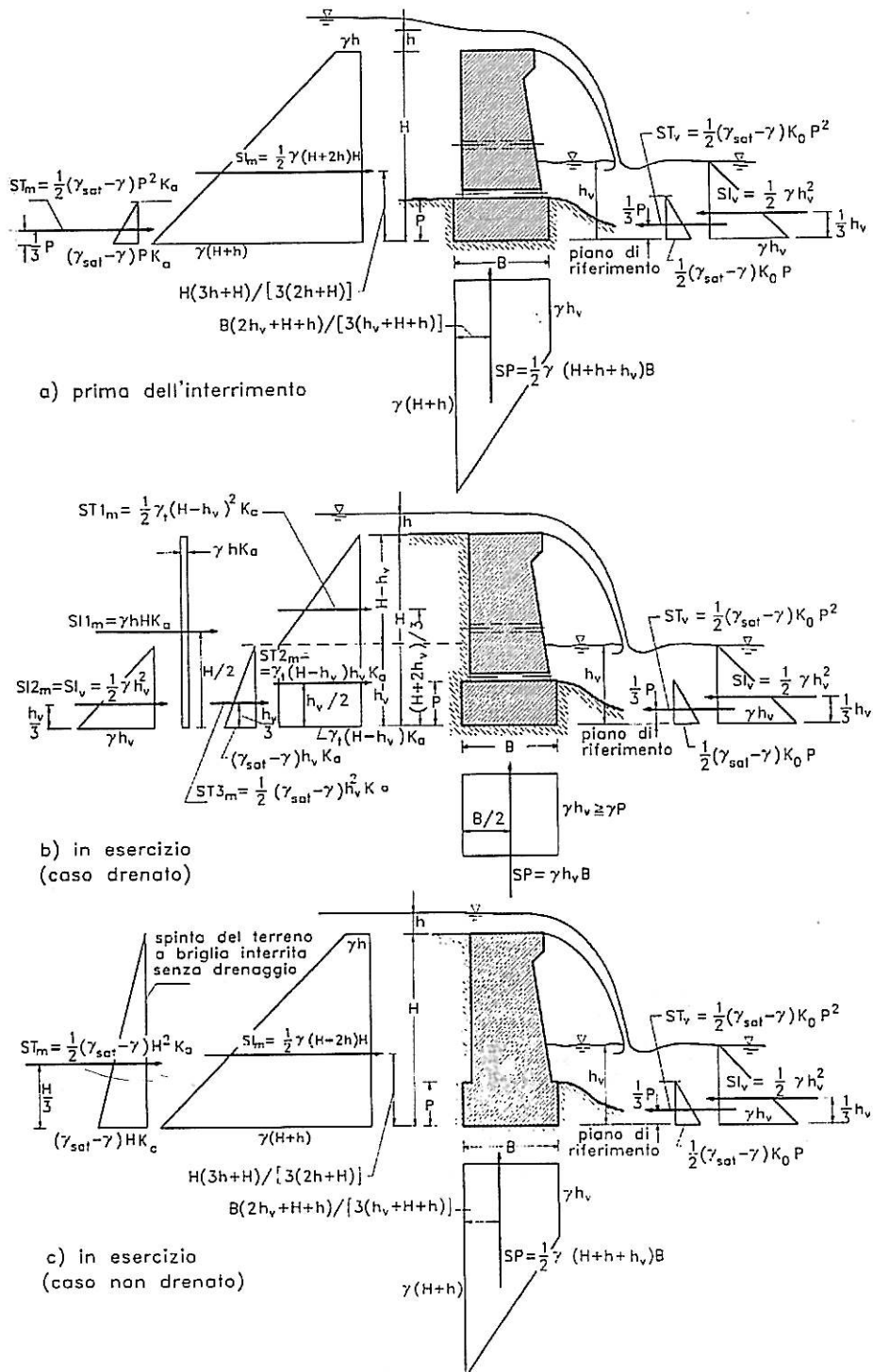


Figura 11 Schema delle forze in gioco (Da Deppo et Al., 1997)

I parametri geotecnici in gioco sono: il peso specifico saturo del terreno γ_{sat} , il peso specifico dell'acqua γ , il coefficiente di spinta attiva K_a , il coefficiente di spinta a riposo K_o .

Il coefficiente K_a è calcolabile tramite l'espressione:

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (6)$$

Dove φ è l'angolo di attrito del terreno.

Il valore di K_o deve essere compreso, per le sabbie, tra 0,4 e 0,7 mentre solo per le argille può raggiungere il valore 1 e superarlo per le argille sovraconsolidate.

4. Vasche di dissipazione

Le vasche di dissipazione vengono adottate a valle di briglie e traverse ed a tergo degli sfioratori laterali per contenere il risalto idraulico e mitigarne gli effetti erosivi sul fondo dell'alveo.

Per il dimensionamento delle vasche di dissipazione è necessario determinare la localizzazione e le dimensioni del risalto idraulico. Con riferimento alla figura (12) si possono definire le caratteristiche del risalto applicando l'equazione globale dell'equilibrio idrodinamico al volume idrico compreso tra le due sezioni della corrente situate immediatamente a monte e a valle del risalto, dove si può considerare valida l'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni. Così procedendo si ricava che affinché il risalto sia stabile le spinte totali S_1 ed S_2 in tali sezioni devono essere uguali. Perché ciò si verifichi è necessario ovviamente che la spinta S_2 sia pari a quella S_3 relativa alle condizioni di moto a valle della vasca.

Quando S_3 è uguale ad S_2 il risalto risulta essere stabile, situato poco a valle della sezione 1; quando S_3 è maggiore ad S_2 il risalto è annegato, situato cioè sott'acqua. Quando S_3 è minore di S_2 il risalto è ricacciato, cioè collocato a valle della vasca di dissipazione. Questa terza condizione è da evitarsi in quanto provoca l'erosione dell'alveo a valle e costringe il prolungamento eccessivo della vasca di dissipazione.

Per far sì che il risalto sia contenuto all'interno della vasca si può:

- 1) posizionare una soglia nella sezione terminale della vasca;
- 2) abbassare la platea al di sotto del fondo dell'alveo;
- 3) posizionare due muri (o quinte) nella sezione terminale della vasca al fine di produrre un adeguato restringimento.

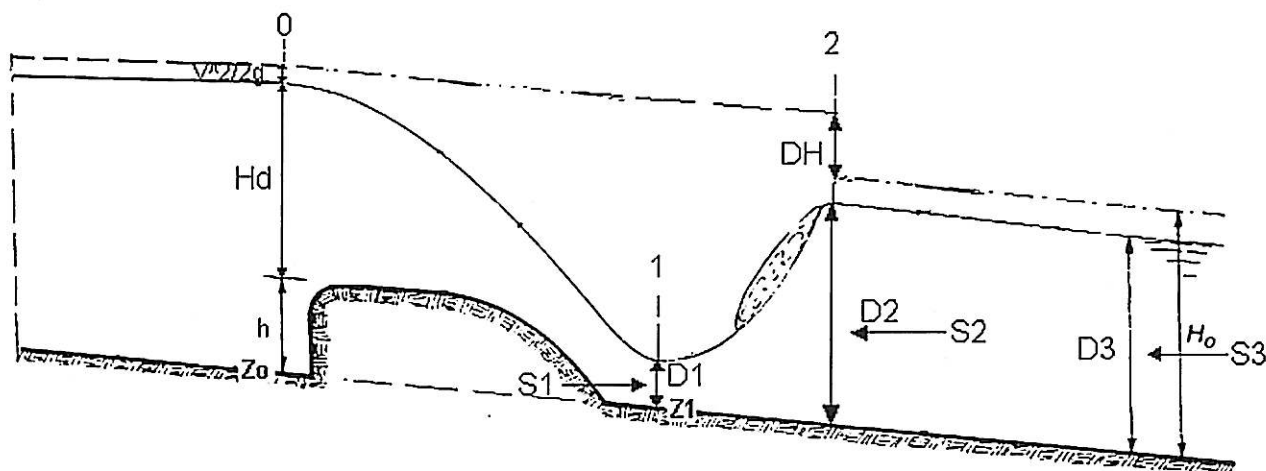


Figura 12 Schema per la localizzazione ed il calcolo delle dimensioni del risalto idraulico

Con riferimento alla figura 12, l'equazione che esprime l'uguaglianza tra le spinte totali S_1 ed S_2 è:

$$\frac{1}{2} \gamma D_1^2 + \frac{\gamma Q}{g B} v_1 = \frac{1}{2} \gamma D_2^2 + \frac{\gamma Q}{g B} v_2 \quad (7)$$

dove γ è il peso specifico dell'acqua, B è la larghezza della vasca, Q è la portata, e D_1, D_2 sono le altezze d'acqua nelle sezioni 1 e 2, immediatamente a monte e a valle del risalto.

I primi termini a destra e a sinistra dell'uguaglianza rappresentano la spinta idrostatica, i secondi il flusso della quantità di moto entrante e uscente dal volume di controllo compreso tra le sezioni 1 e 2.

Indicando con:

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g D_1}} \quad (8)$$

Il numero di Froude, la (7) si può scrivere:

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + 8 F_1^2} \right) \quad (9)$$

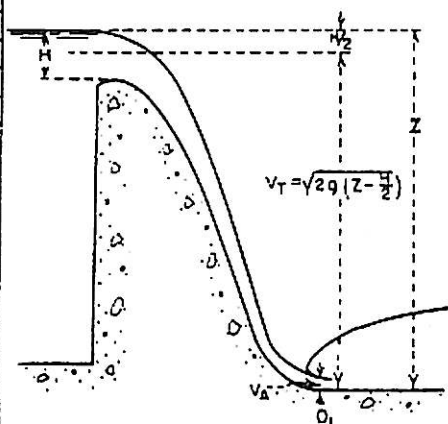
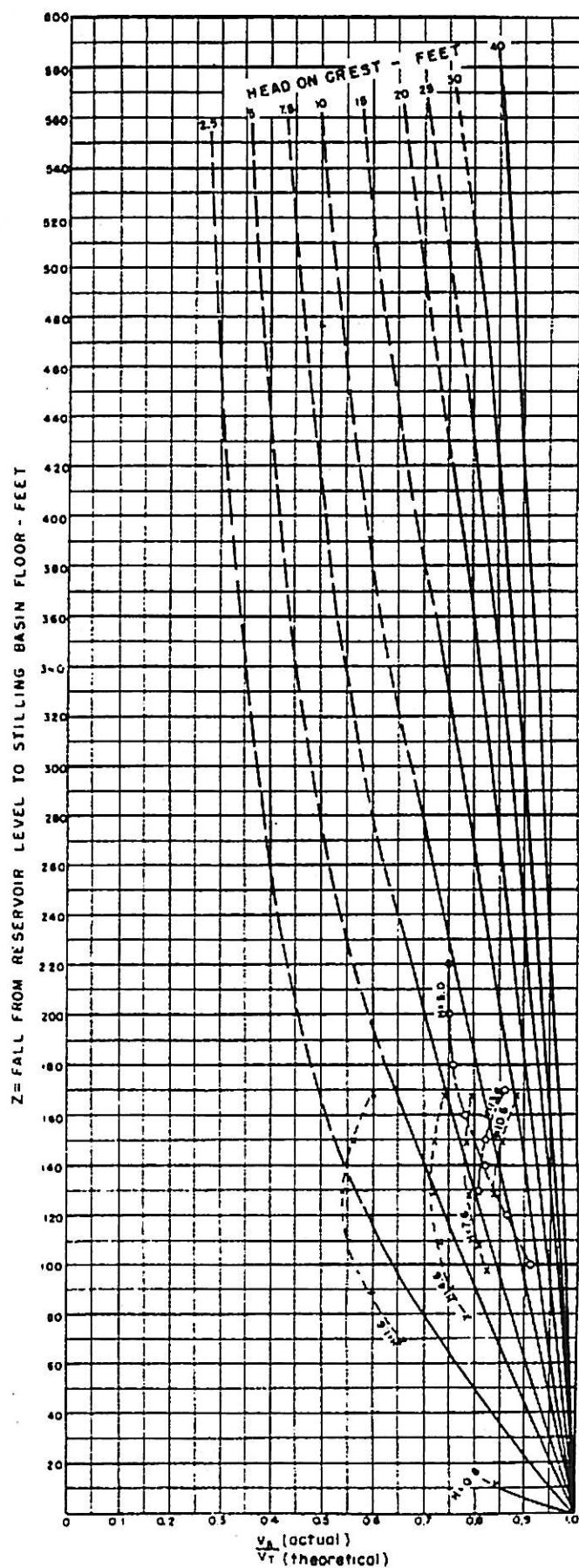
Mentre la perdita di carico DH è pari a:

$$\frac{DH}{y_1} = \frac{1}{4} \frac{D_1}{D_2} \left(\frac{D_2}{D_1} - 1 \right)^3 \quad (10)$$

Per il calcolo dell'altezza D_1 si applica il teorema di Bernoulli tra le sezioni 0 e 1 (figura 12):

$$Z_0 + h + H_d + \frac{V_0^2}{2g} = Z_1 + D_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (11)$$

Avendo supposto nulle le perdite di carico nel tratto 0-1, la velocità V_1 che risulta dalla soluzione di questa equazione è superiore a quella reale; il suo valore deve essere quindi corretto. Può essere adottato allo scopo il grafico di figura 13 ricavato per via sperimentale.



PROTOTYPE TESTS
 x Shasta Dam
 o Grand Coulee Dam

HYDRAULIC JUMP STUDIES
 CURVES FOR DETERMINATION OF
 VELOCITY ENTERING STILLING
 BASIN FOR STEEP SLOPES
 0.8:1 TO 0.6:1

Figura 13 Grafico per il calcolo della velocità effettiva a monte del risalto (Symposium on Stilling Basins and Energy Dissipators, 1961)

La lunghezza L_r del risalto dipende dalla profondità D_2 e dal numero di Froude della corrente. Indicativamente, secondo gli studi dell'U.S.B.R. per valori di Froude superiori a 4 si può assumere:

$$L_r = 6D_2 \quad (12)$$

Per calcoli di maggior precisione si può fare riferimento alla figura 14, che riporta le grandezze appena viste calcolate secondo le regole dell'U.S.B.R.

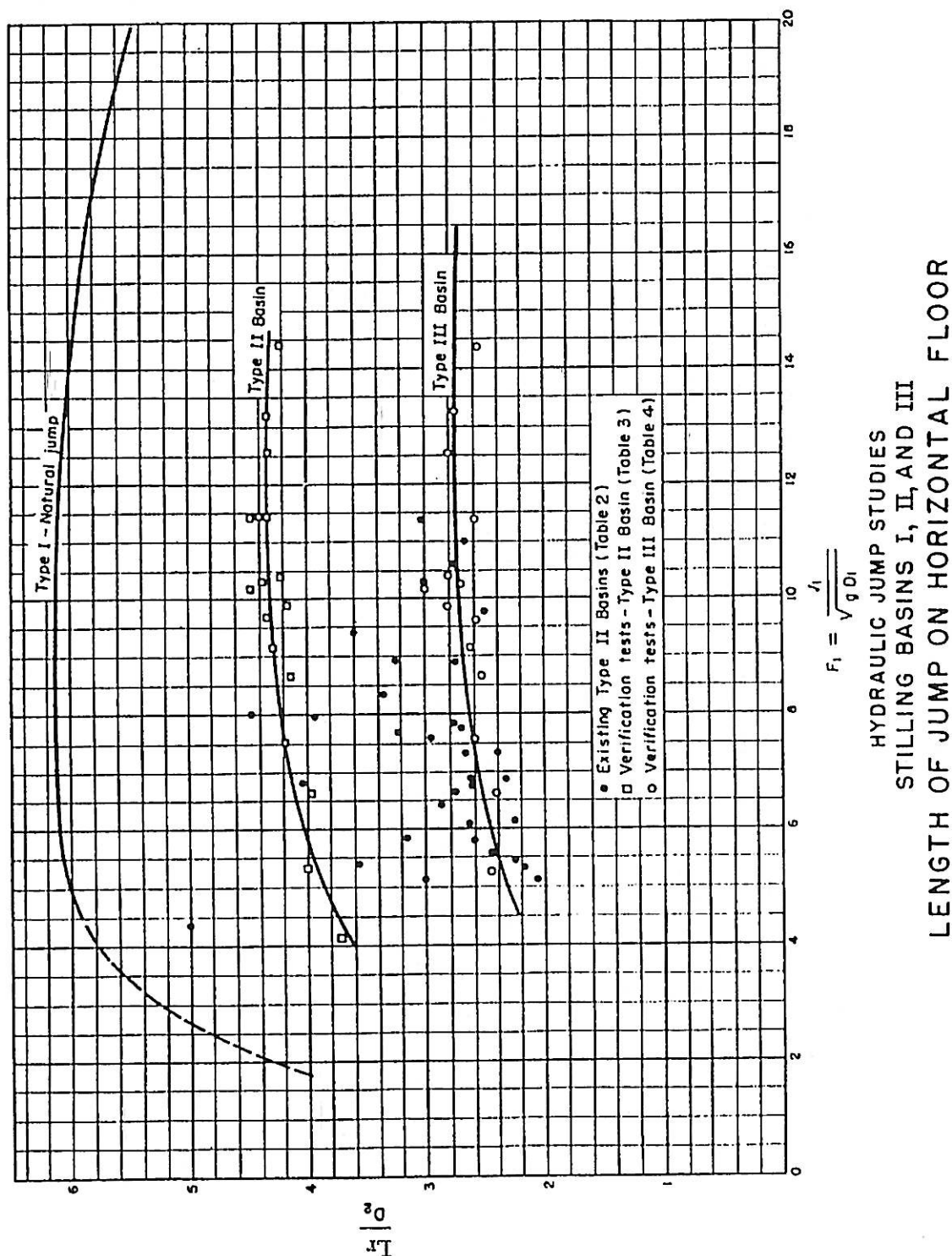


Figura 14 Grafico sperimentale per il calcolo della lunghezza del risalto

Se il raccordo alla vasca ottenuto con un profilo di tipo Scimemi Creager la lunghezza della vasca è pari a quella del risalto incrementata del 10%.

Se il raccordo alla vasca è verticale, si è in presenza di un salto di fondo. In questo caso, per il funzionamento del manufatto, si possono adottare le seguenti formule (figura 15):

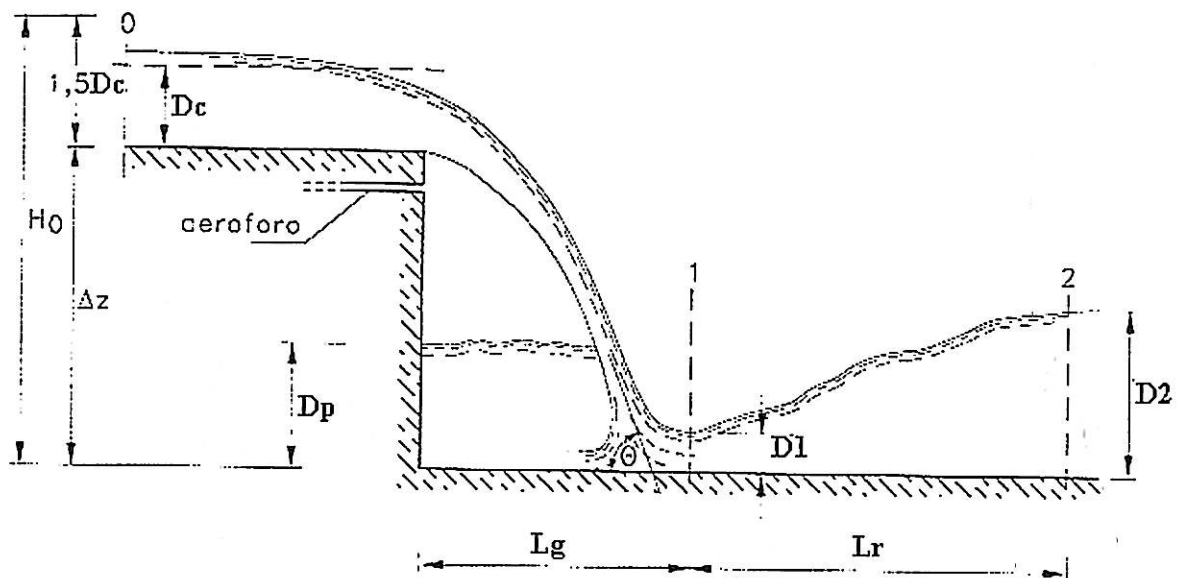


Figura 15 Schema del salto di fondo (Da Deppo et Al., 1997)

$$\frac{D_1}{D_c} = \sqrt{2} \left[1,06 \left(\frac{\Delta z}{D_c} + \frac{3}{2} \right)^{0,5} \right]^{-1} \quad (13)$$

$$\frac{(H_0 - H_1)}{D_c} = \frac{3}{2} + \frac{\Delta z}{D_c} - \frac{D_1}{D_c} - \frac{1}{2} \left(\frac{D_c}{D_1} \right)^2 \quad (14)$$

$$\frac{L_g}{\Delta z} = 4,3 \left(\frac{D_c}{\Delta z} \right)^{0,81} \quad (15)$$

La lunghezza della vasca è pari alla somma di L_g ed L_r .

Analisi sperimentali condotte da Paoletti (1979) hanno portato alla formulazione delle seguenti espressioni per la stima dei parametri caratteristici del salto di fondo:

$$\frac{D_p}{\Delta z} = 1,1 D^{0,238}$$

$$\frac{D_1}{\Delta z} = 0,55 D^{0,433}$$

$$\frac{D_2}{\Delta z} = 1,65 D^{0,273}$$

$$\frac{L_g}{\Delta z} = 3,65 D^{0,235}$$

(16)

Dove con D si è indicato il parametro:

$$D = \left(\frac{D_c}{\Delta z} \right)^3 \quad (17)$$

Qualora risultasse $D_2 > D_3$ è necessario abbassare la platea di una quantità a che si ricava applicando il teorema di Bernoulli tra le sezioni 3 e 2:

$$a = D_2 + \frac{v_2^2}{2g} - \left(D_3 + \frac{v_3^2}{2g} \right) \quad (18)$$

La figura 16 mostra alcuni risultati sperimentali riguardanti l'andamento di a/D_1 al variare di F_1 e di D_3/D_1 .

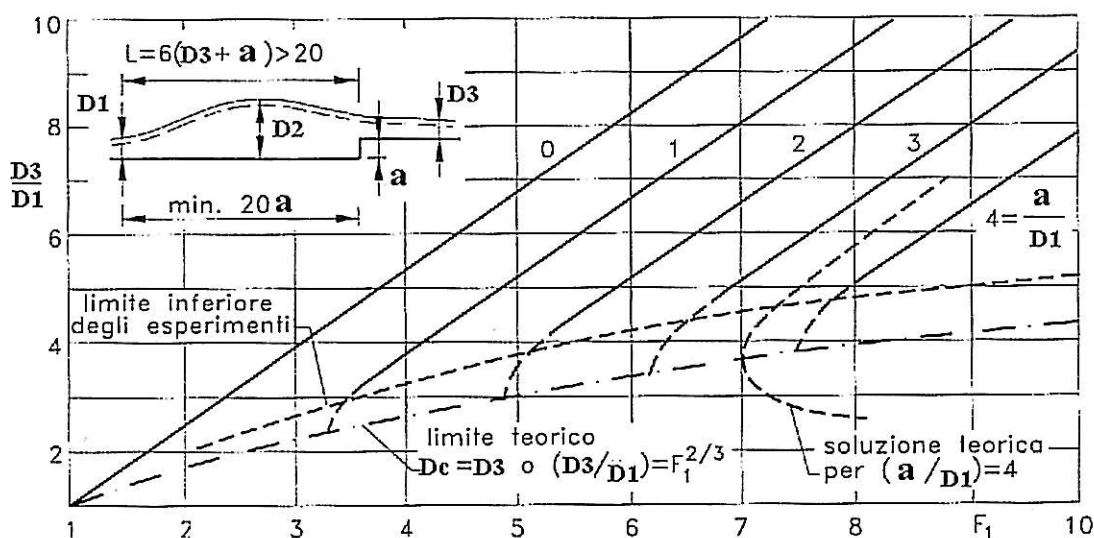
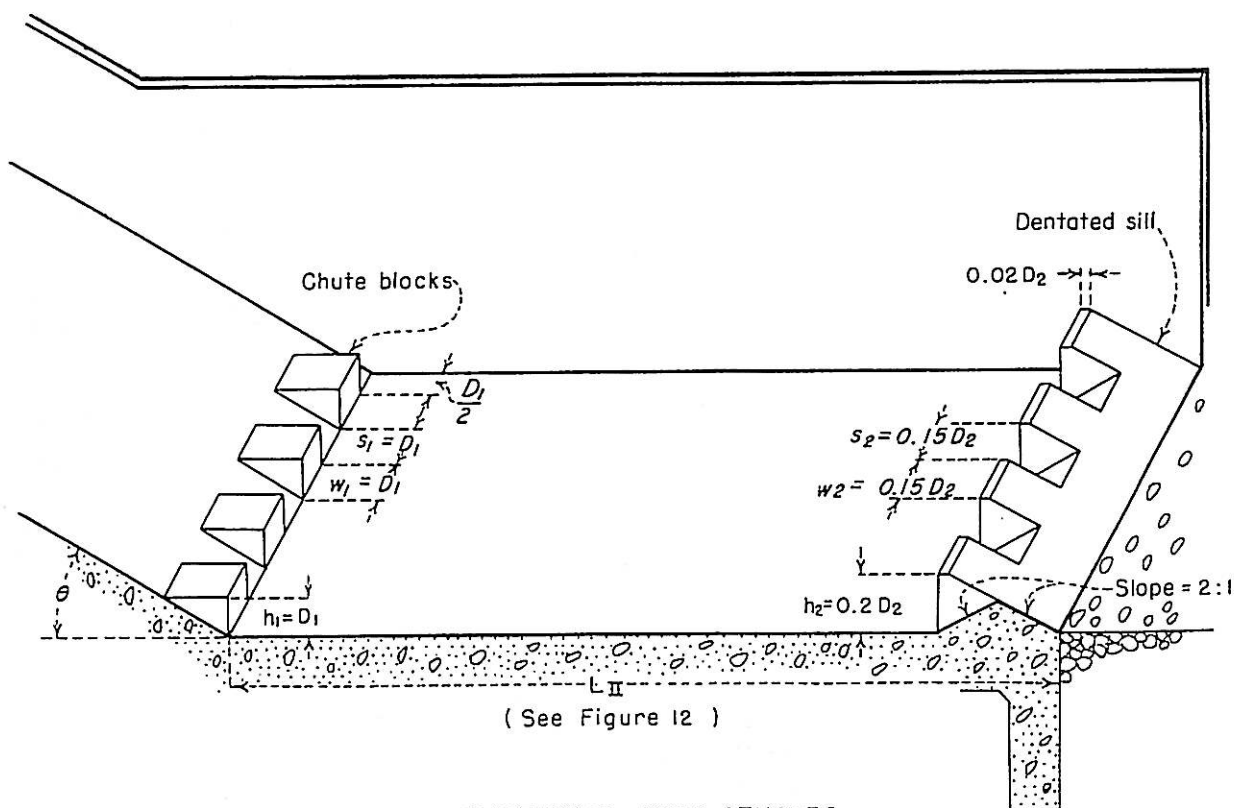


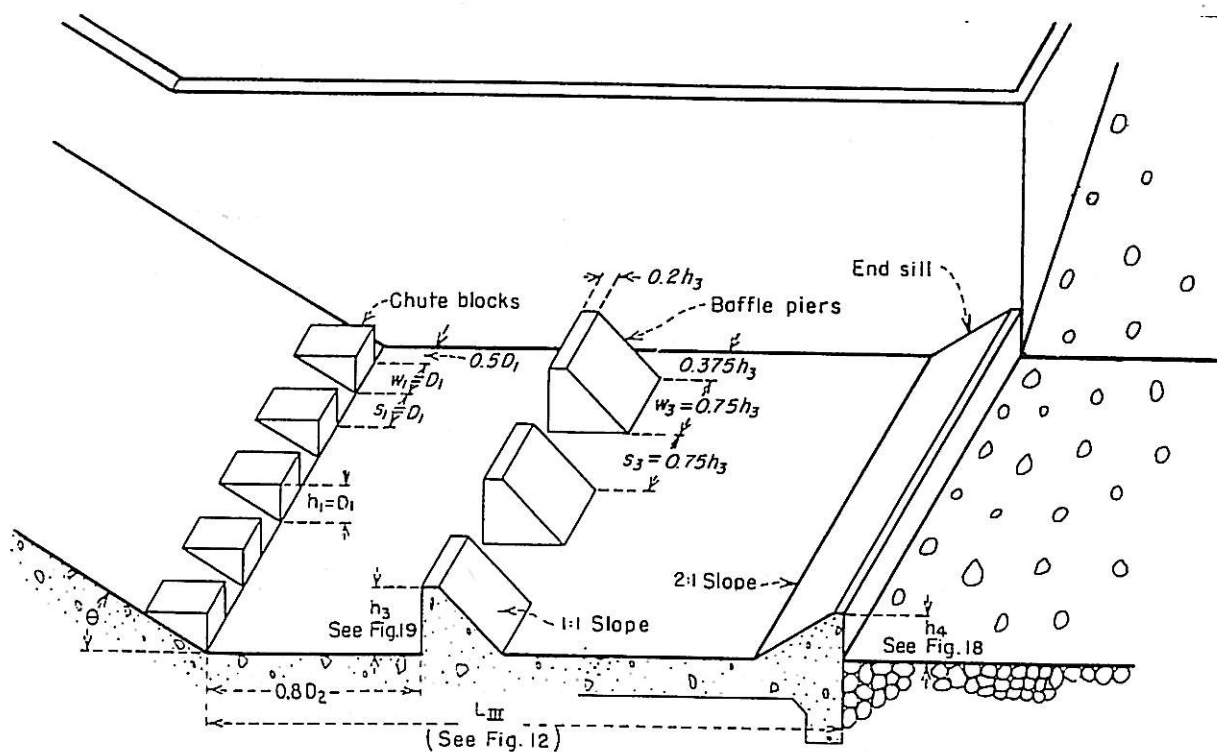
Figura 16 Grafico per il calcolo del salto di fondo (Da Deppo, 1997)

Se la lunghezza della vasca dovesse risultare eccessiva, è necessario posizionare sulla platea elementi strutturali di forme e dimensioni opportune per favorire la dissipazione di energia (denti di Reebock). La localizzazione ed il calcolo di tali elementi può essere condotta con diverse procedure. In figura (17) e (18) sono mostrate le configurazioni delle vasche U.S.B.R. di II e III tipo.

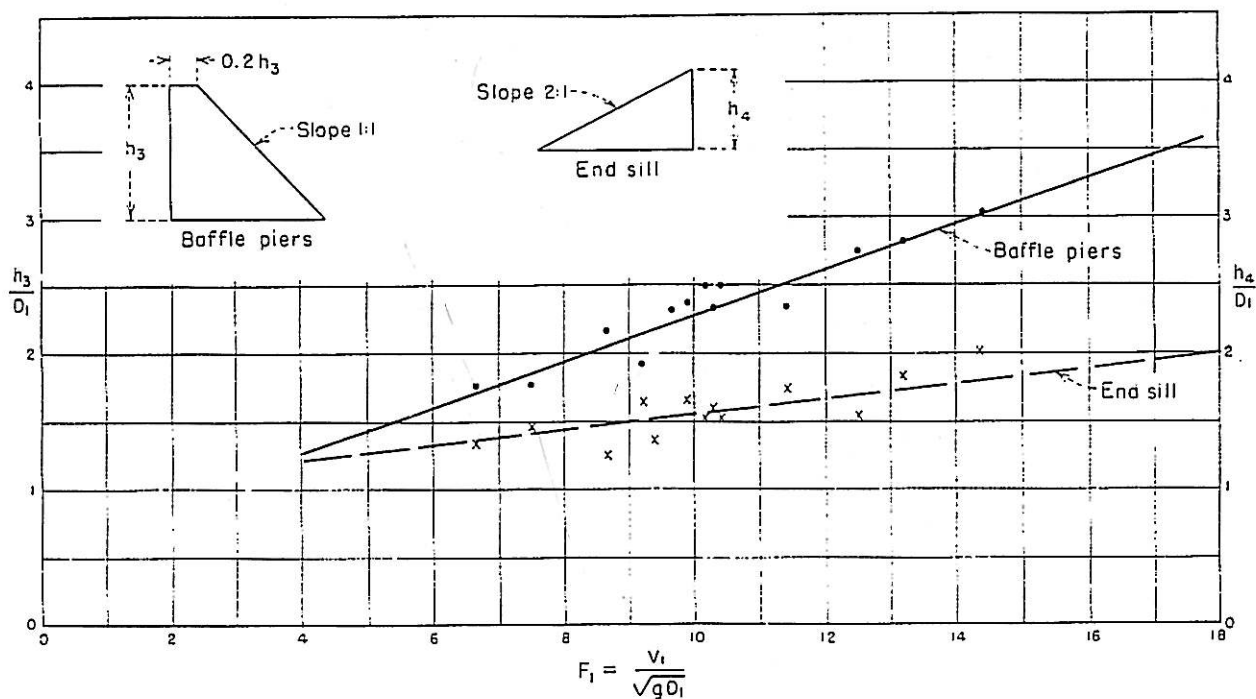


HYDRAULIC JUMP STUDIES
STILLING BASIN II
RECOMMENDED PROPORTIONS

Figura 17 Schema della vasca di II tipo (Symposium on Stilling Basins and Energy Dissipators, 1961)



HYDRAULIC JUMP STUDIES STILLING BASIN III RECOMMENDED PROPORTIONS



HYDRAULIC JUMP STUDIES STILLING BASIN III HEIGHT OF BAFFLE PIERS AND END SILL

Figura 18 Schema di vasca del III tipo (Symposium on Stilling Basins and Energy Dissipators, 1961)

I dissipatori di II tipo permettono la riduzione della lunghezza della vasca del 33% mentre quelli di III tipo permettono una riduzione del 60% ma sono molto più difficili da costruire.

Riferimenti Bibliografici

- Armanini A., G. Benedetti: *Sulla larghezza di apertura delle briglie a fessure*, In Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, vol. 3, (1996).
- Benini G. *Sistemazioni idraulico-forestali*, UTET, Torino, (1990).
- Cazzuffi D. *L'impiego dei geosintetici nella sistemazione naturalistica dei corsi d'acqua*. U. Maione, A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 7-11 ottobre 1996. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Contessini F., *Dighe e traverse*, Editrice Politecnica, Milano (1953).
- Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova (1997).
- Datei, C., *Introduzione allo studio delle dighe*, Edizioni Cortina, Padova (1976).
- Brath A., Maione U., *La sistemazione dei corsi d'acqua montani*, In La difesa idraulica del territorio. Atti del corso di aggiornamento 7-11 Ottobre 1996, Maione U. Brath A. Eds., Editoriale Bios, Cosenza, (1997).
- Gibelli M.G., Meucci D., Oggionni F., Palmeri F., Vallone F. *Quaderni di ingegneria naturalistica. Sistemazioni in ambito fluviale*. Il verde editoriale, Varese (1995).
- Paoletti A., *Lezioni di idraulica fluviale*. Politecnico di Milano - D.I.I.A.R. A. A. 1990/91.
- Passoni G. *Aspetti idraulici delle opere di ingegneria naturalistica*. In Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali. U. Maione A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 10-14 ottobre 1994. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Petrka A.J., *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators*. Engineering Monograph n° 25, US Bureau of Reclamation, Penver, USA (1967).
- Roland Schweitzer. *Metodi di ingegneria naturalistica lungo i corsi d'acqua*. In Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali. U. Maione A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 10-14 ottobre 1994. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Rozgar B., *Design of diversion weirs*, Wiley, Baffins Lane (1995).
- Scimeni E., *Dighe*, Hoepli, Milano (1928).
- Sauli G. *Tecniche di ingegneria naturalistica nelle sistemazioni dei corsi d'acqua*. In La difesa idraulica del territorio. U. Maione, A. Brath eds. Atti del corso di aggiornamento 7-11 ottobre 1996. Editoriale Bios, Cosenza (1997).
- Schiechtl H.M. - Stern. *Ingegneria naturalistica. Manuale delle opere idrauliche* Il verde editoriale, Varese (1998).
- Schiechtl H.M., *Bioingegneria Forestale. Biotecnica naturalistica*, Edizioni Castaldi, Feltre (BL) (1991).
- Schiechtl H.M., *I salici nell'uso pratico*. Edizioni L'Arca, Gardolo (TN). (1995).
- Symposium on stilling basins and energy dissipators; reprinted from the Journal of the Hydraulics Division Proceedings of the American Society of Civil Engineer*. Proc Symp series n°5, June 1961.
- United States Bureau of Reclamation, *Design of small dams* - USBR, Washington (1974).
- Zeh H., *Tecniche di ingegneria naturalistica*. Il verde editoriale, Varese (1997).

CAPITOLO 8

ANALISI AMBIENTALE DEI SITI SEDE DI CASSE DI ESPANSIONE

1. Generalità

La definizione del progetto di una cassa di espansione non può prescindere dal considerarne gli aspetti naturalistici. Un'impostazione basata esclusivamente sugli obiettivi di carattere idraulico può difatti ingenerare effetti indesiderati sul territorio sotto molteplici aspetti. Si sa, ad esempio, che la realizzazione di casse di laminazione coinvolge, in genere, vaste aree di pertinenza fluviale in attività di escavazione e modellazione del terreno. Gli effetti sono, assai spesso, la distruzione della vegetazione, la riduzione di ambienti umidi, la banalizzazione ed il disturbo all'habitat faunistico e l'asportazione del suolo vegetale.

La realizzazione delle casse viene inoltre a mutare l'equilibrio dinamico, almeno ove questo esiste, tra il corso d'acqua e le aree limitrofe. La frequenza della sommersione del territorio può difatti risultare, a seguito della costruzione dell'opera, maggiore o minore rispetto allo stato preesistente. È il caso, ad esempio, di zone di pianura ben difese dalle acque anche in occasione di eventi severi che, per tutelare i comprensori valtivi, vengono destinate alla laminazione delle piene con casse in derivazione. Oppure, all'opposto, si possono citare piani golenali spesso invasi dalle acque di morbida che, al fine di incrementarne l'efficienza di laminazione, vengono arginati per meglio fronteggiare eventi meno frequenti. Conseguono spesso, a questi interventi, modificazioni dell'assetto ambientale tali da influenzare la possibilità di conservazione e rigenerazione dell'ecosistema.

La definizione di criteri ambientali per la progettazione si svolge attraverso le seguenti fasi:

1. identificazione, tra le diverse opzioni progettuali, di quella che presenta il minor impatto negativo, o quello maggiormente positivo, sull'ambiente;
2. studio dell'ecosistema locale per individuare aree a diverso grado di qualità ambientale sulle quali diversificare gli interventi idraulici per minimizzarne o evitarne l'impatto sull'ambiente;
3. progettazione degli accorgimenti di mitigazione da mettere in atto per l'inserimento ottimale della cassa d'espansione nel territorio;
4. definizione delle misure per la gestione ecologica e il monitoraggio in corso di esercizio.

Non è facile che un sistema di casse d'espansione adempia, oltre alla funzione prettamente idraulica, anche a un ruolo ecologico e naturalistico. Negli ambienti fluviali naturali la transizione tra l'ambiente acquatico e quello terrestre non è confinata ad una ristretta zona spondale, ma si estende invece attraverso un'ampia fascia di pertinenza, costellata spesso di deboli rilievi e bassure dove si osserva di solito una vasta gamma tipologica di zone umide. Si tratta di alvei secondari interessati da deflussi di diversa intensità, lanche fluviali collegate al fiume o da esso disgiunte, stagni, acquitrini, paludi, aree sottoposte a sommersione, boschi igrofili, risorgive.

Questi habitat, essendo interessati da inondazioni di intensità e frequenze variabili, sono soggetti a drastiche sollecitazioni naturali. Le varie specie sono spesso adattate a queste perturbazioni, almeno fino a un certo livello di severità.

L'inondazione, nell'ambiente ripario, è un elemento di rinnovamento della dinamica morfologica fluviale e perifluviale, che contribuisce a diversificare le nicchie ecologiche rinnovando o spostando i depositi fini e grossolani, apportando detriti vegetali e nuove biocenosi.

Il progettista si trova spesso ad affrontare situazioni già modificate dall'uomo. La costruzione di una cassa di espansione può, in questo caso, rappresentare l'occasione per una restituzione parziale al fiume dello spazio sottratto attraverso canalizzazioni, rettifiche, arginature, in alcuni casi anche di riattivare forme relitte o degradate di zone umide perifluviali.

Trattandosi di ambienti costruiti artificialmente che non sono intrinsecamente adattati alla sommersione, la progettazione deve guidare un processo di nuovo adattamento che porti nel tempo alla formazione di comunità biologiche stabili anche se di valore inferiore a quelli di ambienti naturali maturi. Un esempio tipico è quello dei laghi di cava recuperati, che rappresentano unità ecosistemiche *paranaturali* ricreate da zone a precedente sfruttamento antropico, in cui si cerca di favorire una sufficiente diversità di nicchie ecologiche.

2. Analisi ambientale del sito

La potenzialità ecologica della cassa di espansione è diversa a seconda delle condizioni precedenti la realizzazione dell'opera e dell'assetto ecologico generale dell'area fluviale in cui è inserita. Per tale motivo è necessaria una prima fase di analisi territoriale al fine di individuare le aree a diverso grado di qualità ambientale, assicurare la conservazione delle risorse biologiche di maggior pregio e diversificare gli interventi in modo da sfruttare le potenzialità del sito.

Tale studio preliminare è inoltre determinante per quanto riguarda la scelta delle specie da utilizzare negli impianti di vegetazione, che deve risultare dalle indicazioni ottenute da uno studio dei fattori pedo-climatici e floristico-vegetazionali.

Tali finalità devono essere perseguite considerando due livelli distinti di analisi: uno relativo all'ambiente fisico, l'altro al comparto biotico limitato ad un'area di studio comprendente il sito del progetto e un'intorno di pertinenza della cassa di espansione.

2.1 Aspetti fisici

Alcuni fattori fisici hanno grande importanza nel determinare la natura della vita negli ambienti fluviali. Lungo i corsi d'acqua variano più o meno gradualmente le caratteristiche geomorfologiche (pendenza, morfologia planimetrica e altimetrica, granulometria dei materiali), idrauliche (portata, velocità della corrente, turbolenza, trasporto solido) e fisico-chimiche (temperatura, densità, concentrazione di ossigeno e di elementi nutritivi nelle acque), che influenzano la composizione e la vita delle biocenosi residenti.

2.1.1 Indagini geomorfologiche

Particolare importanza riveste l'analisi della dinamica fluviale che va estesa per un tronco sufficientemente esteso a monte e a valle dell'opera. In particolare occorre valutare la eventuale tendenza all'erosione o al deposito, la vocazione dell'alveo a divagare, la presenza di forme fluviali attive. A questo proposito può

essere utile la raccolta e lo studio di documenti storici quali la serie delle tavolette IGM disponibili, documenti catastali, o altri dati più antichi, reperibili negli archivi e contenenti progetti di sistemazione o bonifica idraulica. Sotto il profilo geologico e geomorfologico può risultare di un qualche interesse anche l'individuazione di eventuali paleoalvei che si sono evoluti sia per cause naturali che per interventi antropici, nonché l'osservazione degli effetti di interventi di sistemazione che si sono succeduti nell'area.

2.1.2 Studio della qualità dell'acqua

Lo studio della qualità delle acque superficiali è importante per comprendere se vi sono rischi di inquinamento per la concomitanza degli apporti fluviali e delle condizioni di circolazione che si instaureranno all'interno della cassa. E' importante inoltre studiare gli effetti degli scambi idrici con la falda freatica.

Le piene veicolano elevate quantità di fosforo ed azoto inorganici disciolti. Il sistema acquatico subisce dunque sollecitazioni impulsive indotte da forzanti esogene e controllate da processi interni quali la rapida crescita di popolazioni fitoplanctoniche nelle acque invase, che catturano l'energia luminosa attivando il processo di fotosintesi e la trasformano in sostanza organica con produzione di ossigeno e rapida diminuzione dei nutrienti disciolti. La crescita fitoplanctonica può determinare però anche la deossigenazione delle acque a scapito delle altre forme viventi, quando i processi di decomposizione prendono il sopravvento su quelli fotosintetici. L'ago della bilancia dell'ecosistema è proprio l'ossigeno disciolto: esso infatti è contemporaneamente il prodotto della fotosintesi e il combustibile della digestione di sostanza organica. Il meccanismo di autodepurazione viene mandato in crisi se la quantità di sostanza organica presente diventa maggiore di quella che il sistema stesso può smaltire. Un valore eccessivamente basso della concentrazione è il segno che la sostanza organica sta saturando il sistema (eutrofizzazione).

L'attività degli organismi depuranti dipende inoltre dalle condizioni chimico-fisiche del sistema e cioè temperatura, luminosità, profondità, torbidità, concentrazione di ossigeno.

Acquista pertanto importanza la vegetazione erbacea e arboreo-arbustiva delle aree umide, in grado di ridurre la temperatura e la luminosità schermando i raggi del sole. Le piante acquatiche flottanti (ovvero galleggianti e prive di rapporto col suolo) e le piante idrofite radicate, entrano nel processo di depurazione assorbendo elementi nutritivi dall'acqua o agendo da filtro meccanico per le particelle solide sospese o ancora fornendo un supporto alle colonie batteriche allo zooplancton e alle alghe. Questo sistema svolge una duplice azione depurante diretta, intercetta le acque e ne rallenta la velocità inducendo la sedimentazione del carico solido e degli inquinanti ad esso legati.

A questa azione di filtro meccanico si deve aggiungere quella dovuta al sequestro di fosforo a livello delle particelle di argilla sedimentate e azoto, trasformato dai batteri denitrificanti a livello delle radici.

Un'altro importante elemento che condiziona l'efficienza depurativa della cassa d'espansione è la morfologia del fondo. L'attività biologica di un corso d'acqua è condizionata dal movimento delle acque e quindi dalla velocità di trasporto a valle della biomassa da trasformare. Più i nutrienti scorrono velocemente verso valle, minore è l'efficienza complessiva delle trasformazioni biochimiche ad opera degli organismi e minore conseguentemente la tendenza a scaricare a valle il carico organico indecomposto diventando un trasportatore passivo.

La *ritenzione*, vale a dire la capacità del corso d'acqua di trattenere il materiale in sospensione, non dipende soltanto dalla velocità della corrente ma anche dalla presenza di ostacoli fisici al flusso, quali massi, tronchi d'albero incastrati, vegetazione ripariale invadente e dalla morfologia del fondo dell'alveo. Per questo motivo un'opera che banalizzi la morfologia di fondo, con uno spianamento troppo regolare deprime le capacità autodepuranti del corso d'acqua.

L'analisi della qualità delle acque dovrà portare a determinare i parametri chimico-fisici di: temperatura, pH, durezza, conducibilità elettrica, torbidità, solidi sospesi, ossigeno disciolto, BOD₅ (consumo di ossigeno da parte degli organismi), concentrazioni di fosforo, ione ammonio, nitriti, nitrati, solfati, cloruri, coliformi fecali, coliformi totali, streptococchi fecali.

I campionamenti dovrebbero essere effettuati in un arco di tempo sufficientemente lungo per individuare l'andamento della qualità delle acque nel tempo; questa necessità può essere soddisfatta anche utilizzando dati a disposizione degli enti pubblici competenti o elaborati in occasione di precedenti interventi fluviali.

È altresì opportuno svolgere un'indagine sugli indici biologici di qualità delle acque con la metodica *I.B.E (Indice Biotico Esteso)*, basata sull'analisi dei macorinvertebrati bentonici.

L'indice, implica che per gli organismi campionati si raggiunga un dato livello di determinazione tassonomica, secondo le indicazioni riportate in Ghetti (1986). La determinazione degli organismi può essere effettuata tramite chiavi tassonomiche e guide facilmente disponibili sul mercato (Tachet et al. 1980, CNR 1980 - 81 - 82 - 83, Sansoni 1988).

2.1.3 Studio geopedologico e del deposito fluviale

Obiettivo dello studio geo-pedologico è di riconoscere e cartografare le forme fluviali dovute al modellamento fluviale attuale o relitto e campionare i suoli delle aree stabilizzate e non, compiendo una approfondita indagine conoscitiva sul profilo dei suoli, per essere in grado, eventualmente, di realizzare gli impianti a verde su substrati a tessitura e struttura simili a quelli preesistenti e a tipologia e distribuzione corrispondenti alla vegetazione potenziale naturale.

L'indagine pedologica è tesa alla conoscenza di parametri di facile acquisizione, come la struttura e la tessitura per definire le caratteristiche fisiche, il pH e la dotazione in nutrienti per quelle chimiche.

Nel caso la realizzazione delle opere comporti movimenti di terra tali da modificare sostanzialmente le peculiarità pedologiche, l'indagine richiede approfondimenti ulteriori. Si tratta di scegliere le pratiche agronomiche atte a conferire ai suoli una fertilità tale da permettere all'impianto di verde di evolvere celermente.

Di fondamentale importanza, ai fini della valutazione degli effetti delle inondazioni sull'ecosistema, è il campionamento dei sedimenti fluviali per la determinazione della granulometria e del grado di inquinamento chimico soprattutto da metalli pesanti che normalmente si ritrovano in maggior quantità nei sedimenti che non in sospensione.

Queste ultime analisi possono essere effettuate con le medesime stazioni di campionamento utilizzate per i prelievi dell'acqua. I parametri di interesse come indicatori di qualità dei sedimenti fluviali sono:

- i. curva granulometrica;
- ii. percentuali di sostanza organica;
- iii. azoto, fosforo e potassio totali espressi in g su kg di peso secco del campione;

iv. piombo, cadmio, cromo, zinco, nichel, manganese, arsenico, mercurio espressi in mg su kg di peso secco del campione.

Il criterio per stabilire la qualità dei sedimenti fluviali in base al contenuto di metalli pesanti può riferirsi a valori soglia di concentrazione o a valori critici di tollerabilità per la vita acquatica.

2.2 Aspetti biologici

Lo studio degli aspetti biologici è teso alla ricostruzione della consistenza e della distribuzione dei popolamenti vegetali e faunistici nell'area interessata dall'intervento e nelle zone immediatamente circostanti, per conoscere la qualità e la consistenza delle risorse che verranno coinvolte direttamente dall'intervento, le loro modalità di fruizione e le tendenze a breve e medio termine di possibili trasformazioni. Lo scopo finale è quello di pervenire ad una zonizzazione ambientale dell'area di studio, in cui grossomodo, possono essere definite 4 zone omogenee:

1. zone di particolare pregio ambientale, ove devono essere evitate alterazioni se non ai fini migliorativi;
2. zone ad elevata qualità ambientale, ove devono essere minimizzati gli interventi o i relativi impatti;
3. zone a scarsa qualità ambientale, tendenti alla naturalizzazione, da assoggettare a riqualificazione;
4. zone degradate, da assoggettare a recupero ambientale, ove non esistono particolari vincoli alla realizzazione di interventi idraulici.

Il primo passo dell'indagine territoriale è l'analisi dell'uso del suolo nell'area interessata, effettuata principalmente attraverso fotointerpretazione con rilievi sul campo.

Le informazioni raccolte devono essere riportate in una carta dell'uso del suolo alla scala 1:10.000 o 1:5.000, ove vengono messe chiaramente in evidenza forme d'uso del suolo sia antropiche che naturali con indicazione dei tipi di coltivazioni, boschi, aree edificate, incolte e degradate. Lo studio si prefigge di visualizzare l'articolazione del territorio per categorie elementari, ma di interesse per l'analisi ambientale, che vengono indicate con i termini di bosco, fustaia, ceduo, macchia, prato, pascolo, seminativo, arboreto, mosaico culturale (quando non è possibile evidenziare 1 o 2 colture prevalenti), ecc.

L'indagine deve essere integrata con tutte le possibili informazioni ambientali di carattere generale sull'area vasta circostante, reperite da fonti bibliografiche o da cartografie tematiche in primo luogo riguardo a biotopi protetti o di pregio nelle vicinanze.

Individuate le forme di copertura del suolo si passa ad approfondire gli aspetti prettamente ecosistemici.

Le zone umide naturali sono stazioni di ambiente favorevole alla residenza di determinate comunità floristiche e faunistiche; il pregio di tali unità viene caratterizzato mediante lo studio di determinati indicatori ecologici-ambientali, alcuni dei quali resi in forma di indici numerici.

2.2.1 Rilievo della flora e della vegetazione

Lo studio della flora e della vegetazione permette di approfondire sulla base della carta dell'uso del suolo, il tipo e l'articolazione dell'ambiente naturale indagato, il suo grado di naturalità od artificialità, le relazioni spaziali e dinamiche tra fitocenosi e caratteristiche ecologiche (profondità della falda, caratteristiche

edafiche), in modo da comprendere le modalità ottimali di gestione delle inondazioni, il ruolo svolto da ciascun componente nell'ambito di questo mosaico. Tali conoscenze di base sono di fondamentale importanza anche per una corretta gestione e pianificazione degli interventi in ambito fluviale, individuando sulla scorta anche dello studio pedologico, la gamma delle essenze erbacee, arbustive ed arboree autoctone che presentano la massima probabilità di successo in ordine alla rinaturalizzazione dell'area.

L'analisi consiste nel rilievo della distribuzione della vegetazione al fine della sua rappresentazione cartografica in una Carta della vegetazione alla scala di progetto (1:5000). La carta riporta tutte le locali unità di vegetazione individuate attribuite a specifici syntaxa fitosociologici. Per una maggiore comprensibilità della terminologia fitosociologica è opportuno segnare sulla carta anche le annotazioni sulle principali specie dominanti e sulla complessità strutturale dei popolamenti. (es. Saliceto ripariale - ass. *Salicetum purpureae-eleagni*).

Il rilevamento si effettua in campagna percorrendo il territorio da cartografare e segnando le tipologie vegetali presenti su una carta muta che viene usata come fondo topografico. L'individuazione in campagna delle unità fitosociologiche va effettuata da parte di personale esperto e richiede buone conoscenze, in quanto non sempre è agevole attribuire una determinata vegetazione ad un'associazione nota. Possono essere utilizzati in sostituzione all'associazione i livelli gerarchici meno definiti come l'alleanza e l'ordine. Il disegno della carta viene effettuato a posteriori utilizzando le annotazioni di campagna, le foto aeree e ogni altra informazione utile. In carta si potranno indicare anche particolari emergenze floristiche individuate quali alberi monumentali e specie rare.

Nel caso di siti di maggior pregio e complessità è necessario un approfondimento di indagine con l'esecuzione di veri e propri rilievi fitosociologici. Il rilievo fitosociologico viene effettuato per aree campione minime utilizzando il metodo di Braun-Blanquet. Per area minima si intende quella entro la quale l'associazione può giungere a svilupparsi in maniera completa: per associazioni di prato o in genere collettività erbacee molto uniformi, nelle nostre zone, l'area minima è compresa tra 10 e 50 mq; mentre per boschi tra 100 e 500 mq.

Fissata la superficie entro la quale verrà eseguito il rilievo, si passa all'esecuzione dello studio floristico, annotando tutte le specie che in essa si presentano e, nel caso di vegetazione pluristratificata, separando le specie dei singoli strati.

Le categorie della vegetazione da prendere in considerazione sono quelle tipiche dei consorzi ripari che si differenziano in fasce a idrofilia gradualmente decrescente.

Poiché la vegetazione ripariale è stata quasi completamente distrutta, ad eccezione di poche località, è importante fare riferimento per lo meno alla vegetazione potenziale quale modello teorico, sia per le esigenze di carattere conoscitivo, che per quelle di carattere applicativo. Particolare importanza ai fini dei problemi di gestione e di restauro ambientale acquista la zonazione trasversale. Quest'ultima è determinata dalla variazione di alcuni fattori ecologici e da particolari condizioni stazionali: livello della falda freatica; frequenza, intensità e durata dei fenomeni di piena; tipo e tenore di sostanza organica decomposta (humus) nel suolo; profondità del suolo; dimensione dei ciottoli alluvionali esistenti nel substrato; altezza dei terrazzi rispetto al letto del corso d'acqua; micromorfologia della superficie dei terrazzi.

Di seguito viene riassunta una sequenza tipica dei consorzi ripari lungo la sezione trasversale al corso d'acqua puramente indicativa delle situazioni di elevata naturalità e pregio paesaggistico che si possono determinare: in realtà alcuni termini della zonazione possono mancare oppure occupare posizioni differenti a

seconda della micromorfologia dei depositi alluvionali:

1. vegetazione galleggiante priva del rapporto col suolo, con specie in grado di formare strati compatti di foglie sulla superficie dell'acqua libera (Es. *Lemna minor*, *Lemna trisulca*, classe fitosociologica *Lemnetea*);
2. vegetazione sommersa e radicata (Es. *Myriophyllum verticillatum*, *M. spicatum*, classe fitosociologica *Potametea*);
3. vegetazione galleggiante ancorata al suolo (Es. *Potamogeton nodosus*, *P. gramineus*, classe fitosociologica *Potametea*);
4. vegetazione del canneto, dove nidificano un gran numero di specie di uccelli e dimorano numerosi animali terrestri (Es. *Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Alisma plantago aquatica*, classe fitosociologica *Phragmitetea*);
5. vegetazione delle praterie palustri di alti livelli freatici, tipica di aree con suolo intriso d'acqua o soltanto umido. Può trovarsi in radure o zone paludose aperte o come fondo in boscaglie umide (Es. *Carex sp.*, *Poa palustris*, classe fitosociologica *Molinio juncetea*);
6. vegetazione igrofila arbustiva esterna, con umidità più o meno alta, è la fase pioniera dei greti fluviali ma si sviluppa anche su terreni stabilizzati sottoposti ad inondazione, o con falda freatica emergente. Si tratta quindi di piante particolari in grado di sviluppare rapidamente apparati radicali profondi tali da "trovare" le acque di falda anche in ambienti aridi e contemporaneamente in grado di sopportare inondazioni violente e lunghi periodi di sommersione. (Es. *Salix alba*, *Salix purpurea* e sui suoli più stabilizzati: *Alnus glutinosa*, classe fitosociologica *Salicetea purpureae*);
7. vegetazione meso-igrofila parzialmente sommergibile delle fasce boschive di transizione tra il bosco ripariale e il bosco climatico asciutto. Allontanandosi dal fiume in questa fascia di vegetazione non più esclusivamente condizionata dall'azione del fiume in tutti i suoi aspetti, cominciano ad avere effetto i condizionamenti climatico-ambientali dei piani bioclimatici che determinano una zonazione longitudinale. L'Arno risulta appartenere da questo punto di vista alla regione eurosiberiana nel tratto più interno, con influssi mediterranei più marcati nel tratto terminale. Dalle sponde del corso d'acqua verso il margine esterno dell'alveo maggiore, per la regione eurosiberiana si osserva una successione di 3 ordini di vegetazione: *Salicetalia purpureae* (con le alleanze *Salicion eleagni* e *Salicion albae*), *Populetales albae* (con l'alleanza *Populion albae* e le suballeanze *Alnenion glutinoso-incanae* e *Ulmenion minori*) e infine *Fagetalia sylvaticae* (con l'alleanza *Fraxino-Carpinion*). Nel tratto terminale dell'Arno il riferimento diretto è il popolamento del Bosco dell'Ulivo, uno degli ultimi lembi di bosco ripariale ben conservati in Italia. In tal caso nel bosco caducifoglio mesoigrofilo (*Fraxino angustifoliae-Quercetum roboris* Gell, Pedrot e Venanz, 1986) domina *Quercus robur* (farnia) che spesso è accompagnato da *Populus canescens*, *Fraxinus oxycarpa*, *Alnus glutinosa* e, nello strato arbustivo, *Ligustrum vulgare*, *Malus sylvestris*, *Evonymus europaeus* e *Frangula alnus*. (figg. 1 e 2, tratte Flora e vegetazione del Bosco dell'Ulivo, Quaderni del Museo di storia Naturale di Livorno). Nelle aree maggiormente depresse, con suolo assai ricco di acqua anche in estate per la presenza di una falda freatica affiorante, si instaura un bosco con strato arbustivo assai più scarso e strato arboreo quasi monofitico a netta prevalenza di *Fraxinus oxycarpa*.

Per caratterizzare il pregio delle fitocenosi rilevate è opportuno utilizzare alcuni indici floristici e vegetazionali quali:

1. la *copertura arborea*, stimata come proiezione delle chiome sul suolo ed espressa in percentuale dell'area coperta;

2. *l'altezza media del piano arboreo*, data dalla media aritmetica delle altezze misurate. È importante munirsi dello strumento per la misurazione dell'altezza (clinometro) o utilizzare altri metodi indiretti tarati in modo da fornire una stima il più possibile oggettiva.
3. *il valore ecologico della flora*, suddividendo le piante dell'ambiente in studio in indigene, naturalizzate (ad es. il fico, il caco ecc..) ed esotiche (ovvero tutte le specie introdotte in tempi relativamente recenti come ad es. la robinia, l'ailanto, i pioppi ibridi euroamericani ed altro ancora) e stimando le concordanze-discordanze dei taxa con le caratteristiche edafo-climatiche dell'ambiente in cui vivono. Questo indice permette di apprezzare il grado di 'naturalità' del paesaggio vegetale e di distinguere le specie da valorizzare da quelle che, risultando pregiudizievoli alle caratteristiche strutturali e fisionomiche del paesaggio, possono essere più facilmente rimosse;
4. la presenza o assenza di alcuni raggruppamenti vegetali, la loro costanza e abbondanza, (ad esempio il bosco igrofilo maturo o associazioni igrofile palustri) evidenziando i livelli di antropizzazione delle aree e i fattori limitanti l'evoluzione dei popolamenti vegetali verso gli stadi terminali, sono di fondamentale importanza nella scelta delle tecniche di intervento e in particolare nella composizione delle cenosi da impiantare nei diversi microambienti.

Per descrivere il valore ambientale della vegetazione di riva nelle diverse situazioni e tradurre le osservazioni dettagliate sulla composizione specifica della vegetazione e sulla successione spaziale delle comunità vegetali in una grandezza utile all'analisi complessiva del sistema fiume, si può anche esprimere la "distanza" della vegetazione reale dalla situazione teoricamente possibile in assenza di modificazioni umane mediante il *Valore della Vegetazione di Alveo* (V.V.A., Ferrari, 1997). I dati di base sono costituiti da una tipologia della vegetazione basata sulla morfologia e sulla composizione dello strato dominante. I valori del VVA sono compresi tra 0 e 1. Valori prossimi a 1 indicano situazioni vegetazionali di elevato valore ambientale, mentre valori prossimi a 0 indicano una vegetazione ripariale degradata.

Questo metodo è valido per valutazioni speditive su tratti più o meno lunghi dei fiumi, a piccola scala, ed è utile per indicare in modo rapido lo stato ambientale delle rive fluviali di una intera asta fluviale o di un bacino idrografico e orientare studi successivi più dettagliati o azioni adeguate.

Una componente decisionale importante è la capacità di resistenza alla sommersione delle varie specie. La composizione floristica della vegetazione fluviale è selezionata anche dalle perturbazioni in occasione delle piene, ovvero dal periodo di sommersione e dalla granulometria e composizione chimica dei depositi alluvionali e dalla violenza degli eventi. La maggioranza delle piante che formano la vegetazione degli ecotoni acquatici è capace di sopportare una sommersione occasionale, poco prolungata, senza danni permanenti. Se viene danneggiata è in genere capace di rigenerare rapidamente.

Ciascuna inondazione aggiunge sali nutrienti e depositi solidi al suolo, aumentando la sua fertilità come in una concimazione naturale. Nelle zone sommerse infatti si crea spesso una fascia di vegetazione nitrofila. Se la granulometria dei depositi è elevata (ghiaie o sabbie grossolane), questi formano substrati estremamente drenanti che permettono l'affermazione di piante pioniere in grado di superare con il loro apparato radicale lo strato asciutto dei sedimenti. Tra queste ricordiamo i salici arbustivi, che tra l'altro possiedono una straordinaria capacità di resistenza alle sollecitazioni meccaniche delle acque di piena defluenti, grazie alla forza di ancoraggio e alla profondità delle radici.

Nelle aree palustri o lacustri la distribuzione delle fasce vegetazionali è data dall'estensione relativa delle aree bagnate a diversa profondità e quindi dal profilo topografico delle sponde.

2.2.2 Indagine ecosistemica

L'individuazione dei diversi habitat da conservare o ricreare oltre a permettere la comprensione delle condizioni morfologiche, idrologiche ed edafiche necessarie al loro mantenimento, fornisce utili informazioni sul valore faunistico dell'area, non sempre possibile da determinare con i censimenti diretti.

Vale in generale la regola, purtroppo solitamente sottovalutata, che la diversità morfologica è un presupposto essenziale per conservare la diversità biologica. Nel caso delle casse di espansione ciò richiede, ove possibile, la conservazione di meandri, anfratti, massi isolati, zone ove la velocità della corrente possa avere ampia variazione da zona a zona.

Il prodotto cartografico finale di questi studi consiste in una carta degli ecosistemi in cui si dà risalto alle tipologie di habitat come le zone umide ed alle direttrici di scambio (es. rotte migratorie degli anfibi) tra i vari biotopi. Lo studio sulla fauna potrà essere arricchito da informazioni sulle dinamiche faunistiche in atto nella porzione di territorio interessato o da altre informazioni di un certo rilievo ricavate dalle indagini bibliografiche e agevolmente cartografabili.

Dovrà essere esaminato per arricchire la descrizione ogni dato proveniente da studi precedenti: atlanti faunistici, fonti bibliografiche redatte da enti pubblici, consorzi, aree protette ecc.

L'indagine si articola in due momenti:

1. censimento sul campo degli ecotipi e riporto in cartografia;
2. individuazione e perimetrazione degli ecotoni degli ambienti acquatici.

La rilevazione sul campo ha lo scopo di individuare e cartografare tutte le tipologie di ambiente acquatico presenti nell'area di studio. In particolare:

1. corsi d'acqua naturali di ordine maggiore (fiumi, torrenti maggiori) e minore (piccoli ruscelli, torrenti tributari, risorgive), ambienti periferuviali, ovvero greti e isole fluviali e alvei temporanei a fondo ghiaioso parzialmente colonizzati dalla vegetazione e scarpate fluviali ripide in terra;
2. canali artificiali, bealere e altri corsi d'acqua permanenti di uso agricolo con profondità oltre il metro;
3. fossi adacquatori, scoline, fossati per l'acqua piovana; presentano una larghezza non superiore al metro, una lunghezza molto variabile e una profondità che non va oltre i 70 cm, hanno normalmente un deflusso intermittente e sono asciutti fuori dalla stagione irrigua;
4. bacini artificiali, cave di prestito o impianti estrattivi fuori alveo; sono bacini di dimensioni molto variabili ma in genere piuttosto grandi, con sponde ghiaiose ripide se non riprofilate, elevata profondità e ampio specchio d'acqua libero;
5. stagni; sono bacini permanenti di dimensione variabile non superiori comunque a 500 mq, alimentati da ruscelli o acque sotterranee, con vegetazione acquatica estesa e rigogliosa; l'intervento umano è assente o ridotto, possono essere usati, talvolta per l'irrigazione;
6. pozze; sono bacini piccoli quasi sempre temporanei, di scarsa profondità (fino a 50 cm), caratterizzati da vegetazione acquatica assai sviluppata

Ciascun sito che potrebbe figurare tra queste tipologie deve essere descritto tenendo in considerazione i seguenti fattori:

1. origine naturale o artificiale;

2. stato perenne o temporaneo;
3. estensione areale (mq);
4. profondità massima (m);
5. pendenza media delle sponde;
6. tipo di substrato di fondo, melmoso, ghiaioso, sabbioso ecc.;
7. tipo di uso del suolo all'intorno del corpo idrico: prato coltivato bosco o incolto
8. esposizione al sole;
9. superficie libera da vegetazione espressa in percentuale;
10. presenza di scarichi industriali agricoli o domestici;
11. presenza di attività antropiche quali caccia, pesca, fruizione pubblica;
12. utilizzo delle acque a fini irrigui.

La naturalità complessiva dell'habitat viene determinata dall'abbondanza di nicchie ecologiche per la fauna e dalla qualità vegetazionale.

Alla qualità complessiva nelle zone umide contribuisce anche la diversità fisionomica.

Dal punto di vista fisionomico gli habitat risultano dalla combinazione di fattori geomorfologici: substrato alluvionale, aspetto e dimensioni degli specchi d'acqua, fisionomia delle associazioni vegetali.

Il parametro indicatore che meglio rende conto del pregio dell'ecosistema è la diversità di ecotipi, cioè il numero, la varietà e la distribuzione delle sottounità fisionomiche che formano un mosaico complesso e vario compreso in uno spazio confinato.

2.2.3 Indagine faunistica

La configurazione fisionomica delle varie formazioni vegetali è molto importante per un gran numero di specie faunistiche.

Gli ambienti acquatici vantano normalmente una elevatissima varietà di specie animali sia di vertebrati che di invertebrati.

Per quanto riguarda questi ultimi merita rilevare la specializzazione e l'abbondanza degli *Insetti* appartenenti a diversi ordini: ortotteri, efemerotteri, ditteri, tricotteri, lepidotteri, coleotteri, odonati, ecc. Alcuni di essi hanno un ciclo biologico che comprende una fase larvale acquatica, durante la quale la larva entra a far parte del ciclo trofico del bacino palustre. Certe specie di libellule e farfalle sono particolarmente gradevoli e caratteristiche, mentre nell'insieme le comunità di insetti costituiscono una fonte di cibo per altri animali, ad esempio pesci e anfibi.

I *pesci* rappresentano gli ultimi anelli della catena alimentare dell'ecosistema acquatico vero e proprio. I popolamenti ittici variano a seconda delle condizioni ecologiche e trofiche dell'ecosistema fluviale secondo una specifica zonizzazione ittica.

Le zone umide perifluviali chiuse hanno un contenuto ittico analogo a quello presente nel fiume nel trat-

to corrispondente, in parte grazie a colonizzazioni in occasione di fenomeni esondativi, in parte perché spesso le zone umide sono forme relitte dell'antico corso dello stesso fiume, per cui le popolazioni ittiche si sono ritrovate isolate dal corso principale. L'assenza di pesci in pozze temporanee o stagni raramente rialimentati dal fiume può indicare che l'habitat è in via di definitivo disseccamento per mancanza delle condizioni minime vitali.

Gli *anfibi* sono ottimi indicatori di qualità per l'ambiente perfluviale dal momento che il loro sottile tegumento li rende vulnerabili al disseccamento e alle sostanze inquinanti disciolte nell'acqua. Essi necessitano dunque di acque limpide e ambienti riparati. Il ciclo riproduttivo comprende spesso una fase larvale acquatica e una fase adulta terrestre che inizia in genere nel periodo riproduttivo. Per questo motivo la sopravvivenza delle comunità di anfibi dipende dall'integrità sia degli ambienti acquatici che di quelli terrestri all'intorno; in alcuni studi si è stimato che gli anfibi a ciclo misto necessitano di un'area terrestre di dispersione compatta che va dai 50 ai 300 ha intorno al sito di riproduzione. Questi animali inoltre presentano risposte molto specifiche alle perturbazioni del livello idrico dei bacini essendo, in linea di massima, avvantaggiati in bacini permanenti con disseccamento estivo, ma svantaggiati nel caso di bacini molto instabili con frequenti e notevoli sbalzi del livello idrico. Soffrono anche della eccessiva predazione da parte dei pesci. Il successo demografico di una varietà di specie di batracofauna è indice di elevata accuratezza progettuale e gestionale delle zone umide ricreate.

Per quanto concerne l'*avifauna*, i biotopi umidi rappresentano centri di nidificazione, svernamento e sosta temporanea ottimali, in quanto forniscono la varietà di ripari, aree di avvistamento, posatoi, siti di nidificazione, fonti di cibo ecc. richiesti da un'enorme varietà di specie anche esigenti. Gli uccelli sono soprattutto indicatori di qualità complessiva dell'habitat, in virtù della loro sensibilità al livello di strutturazione vegetazionale ed alla varietà e di risorse trofiche. Molte specie nidificano nei canneti; altre preferiscono le boscaglie ripariali; alcune usano le rive fangose degli stagni come zone di alimentazione e si posano sugli alberi retrostanti; altre preferiscono cacciare sui letti compatti di piante flottanti; altre nuotano sullo specchio d'acqua e cercano il cibo, ad esempio pesci o piante acquatiche tuffandosi oppure immergendosi o setacciando l'acqua con il becco; altre ancora non sono strettamente legate ai corpi idrici ma ne sono attratte per la ricchezza di cibo, ripari, varietà di microhabitat e così via.

La varietà di ambienti riparati e favorevoli e la ricchezza di cibo delle zone umide attira anche molti *mammiferi e rettili* che, essendo meno mobili degli uccelli, preferiscono generalmente frequentare ambienti sufficientemente protetti. Il comportamento di ricerca dell'habitat non riflette scelte precise nei riguardi dell'ambiente naturale.

I mammiferi tendono in genere a insediarsi in ambienti dove sia presente un certo grado di protezione al suolo o una certa estensione di vegetazione di un certo tipo. L'attenzione maggiore viene rivolta alla individuazione del sito di costruzione della tana; l'areale di dispersione e l'ambiente di ricerca del cibo in genere sono imperniati intorno ad essa, ma in alcuni casi possono essere più ampi e variegati. Particolarmente importante è la presenza in ambienti non favorevoli, di corridoi ecologici che consentano spostamenti protetti in aree di maggior interesse.

Molte sono le specie che non hanno un legame esclusivo con l'habitat delle zone umide. Queste tuttavia possono rappresentare stazioni privilegiate all'interno degli areali di spostamento, a seconda che le caratteristiche ambientali dei biotopi umidi rispondano ai requisiti richiesti dalle specie stesse.

2.2.3.1 Analisi del paesaggio.

L'analisi del paesaggio ha per obiettivo di individuare le aree che per la loro qualità paesistica devono essere salvaguardate e gli elementi con cui deve confrontarsi l'inserimento delle nuove infrastrutture di regolazione idraulica, al fine di consegnare alla fruizione controllata di un pubblico sensibile il godimento di aree paesaggisticamente qualificate. I presupposti sono la tutela delle aree sensibili, la ricerca di elementi e di strutture di permanenza e di continuità con il passato, la valorizzazione delle specificità storico-documentarie del luogo, la rinaturalizzazione dei 'segni' d'acqua, la riqualificazione delle aree degradate e la compatibilizzazione delle attività presenti sul territorio, fruizione sociale e quindi sensibilità alla trasformazione del territorio.

La categoria di fruizione maggiormente interessata al paesaggio legato al fiume è quella legata alla presenza di elevati livelli di naturalità. Il paesaggio fluviale soprattutto nelle pianure urbanizzate rappresenta l'ambiente dove le dinamiche naturali hanno ancora libero sfogo e dove quindi si esprime al meglio il bisogno sociale di 'ritrovarsi con la natura'.

La rinnovata sensibilità verso la conservazione del patrimonio rurale in quanto fattore che contribuisce all'identità di un luogo indirizza la ricerca anche sulle strutture di permanenza e di continuità con il paesaggio agrario, che nel passato ha creato nelle fertili fasce adiacenti al fiume alcuni dei migliori esempi di come l'intervento umano possa ridisegnare il paesaggio.

Non mancano tra gli elementi antropici di pregio infrastrutture legate alla gestione delle acque.

La valutazione del paesaggio di un ambiente circoscritto quale quello fluviale più che ad uno schema disciplinare ben definito fa riferimento ad un approccio alle diverse problematiche.

Ai fini della pianificazione degli interventi sono più utili i metodi oggettivi di indagine e di inventariazione degli elementi fondamentali del paesaggio, piuttosto che approcci di tipo soggettivo basati sui giudizi dove l'impressione visiva emerge dal risultato dell'interazione di diversi osservatori, sebbene qualificati. La ricerca della gradevolezza estetica degli scenari può essere diversa a seconda della specificità culturale.

La prospettiva prevalente dell'equilibrio ecosistemico non deve nemmeno far pensare che la qualità sia sempre direttamente proporzionale al livello di naturalità nell'uso del suolo ed inversamente proporzionale alla presenza antropica diretta. Dal punto di vista percettivo giudizi bassi vengono attribuiti non solo alle aree di espansione urbana e residenziale, ma anche a quelle dove sia presente una vegetazione spontanea incongruente con un paesaggio agricolo ben organizzato.

Ciò che deve essere studiato nell'ambiente non è la realtà naturale, anche se questa ha un evidente rilievo, ma piuttosto i significati e i valori legati all'aspetto percettivo, tenendo conto che le forme percepite valgono per quello che rappresentano.

Classificare il paesaggio significa operare in modo da far emergere gli elementi che determinano il paesaggio ed i segni che ne permettono l'interpretazione, tenendo presente che l'obiettivo dell'indagine è la fruizione sociale dell'ambiente ripario.

Si pongono come necessarie quindi tre diverse modalità d'indagine che fanno riferimento ad approcci disciplinari diversi, dai quali potranno emergere valutazioni non necessariamente coincidenti: l'analisi degli aspetti naturalistici ed ecologici, l'analisi dei valori storici e l'analisi dei valori visivi del paesaggio. Per questo il riflesso complessivo sul paesaggio sarà dato dall'assommarsi degli esiti di ogni singola indagine.

Nella fase di avvio è opportuno mantenersi a stretto contatto con l'indagine naturalistico-ecologica uti-

lizzando i dati sulla morfologia del fiume e delle rive, sulla vegetazione, sull'uso del terreno ripario, elementi che nel loro insieme determinano il paesaggio fluviale.

La prima fase è quella di identificazione e di rappresentazione cartografica degli elementi qualificanti il paesaggio. La rappresentazione cartografica di questi elementi qualificanti il paesaggio è già di per sé una valutazione.

Le tipologie di paesaggio fluviale vengono rilevate mediante sopralluoghi, completate dall'analisi di foto aeree e da una specifica sequenza fotografica dell'area di rilevamento.

L'area di rilevamento viene delineata sulla base delle caratteristiche geomorfologiche, quali gradini di terrazzi e salti di quota nella pianura fluviale, e antropiche, quali infrastrutture lineari parallele al fiume. In senso longitudinale la delimitazione dell'area di rilevamento va individuata ponendo al centro del punto di rilevamento una distanza di circa 350 m a monte e a valle cercando di far coincidere il limite dell'area con un segno evidente (per esempio la fine di un isolone fluviale, la fine di un pioppeto, di un'area coltivata, il segno di una carrareccia e così via). In senso trasversale il limite va definito dal corpo arginale con profondità determinata dall'ampiezza della golenata.

Uno strumento particolarmente adeguato per le analisi del paesaggio sono gli indicatori ambientali sintetici.

Un modello di valutazione del paesaggio ripario mediante indici sintetici è stato fornito per il corso principale dell'Adige nel quale la qualità visiva del paesaggio è data dalla somma delle qualità visive delle sue singole componenti così identificate:

1. emergenze architettoniche;
2. viabilità e infrastrutture;
3. elementi vegetazionali;
4. elementi d'acqua;
5. altri elementi;
6. scena visiva.

Il metodo si basa sulla compilazione di una scheda di rilevamento delle caratteristiche del paesaggio fluviale (figure 1-8).

Tra le emergenze architettoniche relativamente alle case rurali le opzioni qualitative permettono di indicare la loro classificabilità in base al valore storico e alla qualità architettonica, la presenza di elementi aggiuntivi (pozzi, cappelle, aie, colombaie ecc..) e l'aspetto compositivo e tipologico complessivo. Relativamente agli edifici industriali particolare attenzione va alla presenza di edifici di archeologia industriale.

La catalogazione degli elementi vegetazionali è da effettuarsi in base al criterio che tiene conto principalmente della loro presenza come segno sul territorio. Il bosco, la massa arborea (intesa come insieme di alberi e arbusti di dimensione ridotta rispetto al bosco), la vegetazione arbustiva, gli alberi isolati notevoli, i filari, i viali alberati, il canneto e le colture rappresentano lo schema di riferimento per la registrazione dei dati funzionali alla successiva elaborazione della valutazione.

Per quanto riguarda le colture la presenza di varietà colturale è da ritenersi positiva in quanto produttrice di una certa articolazione formale in antitesi alla monotonia della coltura intensiva.

Il pioppeto visivamente offre una massa vegetazionale potenzialmente gradevole nel suo rapporto con

la pianura che la accoglie, ma in sostituzione al bosco ripariale imprime una regolarità innaturale al paesaggio fluviale e comporta fenomeni di degrado legati al breve ciclo di crescita (ad esempio il frequente caotico accumulo ed abbandono dei ceppi di vecchi pioppeti). Frutteti e vigneti visivamente possono offrire una massa vegetazionale e una variazione cromatica di un certo interesse.

Quanto agli elementi d'acqua occorre puntare l'attenzione non solo sul fiume in quanto elemento centrale e onnipresente nella realtà in esame, ma anche su canalizzazioni minori, fossi e zone umide, registrandone anche l'associazione con la vegetazione spondale.

Tra i detrattori visivi più frequentemente rilevabili nel paesaggio fluviale sono linee elettriche, impianti di estrazione e lavorazione di inerti, buche originate da cave in abbandono, allevamenti, pioppeti abbandonati, edifici agricoli in abbandono, baracche, depositi di rifiuti abbandonati, boschi tagliati in eccesso, piste di motocross, rottamai, strutture agricole di protezione. La presenza combinata di più detrattori determina una caduta della qualità precedentemente attribuita al paesaggio in forza del valore delle sue caratteristiche costitutive.

La presenza di allevamenti zootecnici dal punto di vista del paesaggio è identificato da struttura architettonicamente di scarsa qualità a cui deve aggiungersi che si tratta di un'attività da tenere sotto controllo anche sotto l'aspetto igienico-sanitario.

Nel gruppo di elementi detrattori si rileva anche la possibilità di registrare la presenza di rumori o di odori sgradevoli permanenti, vicinanza con zone urbanizzate e frequentazione turistica disordinata. E' possibile segnalare al contrario l'eventuale presenza di elementi visivi e sensibili quali particolari variazioni cromatiche e suoni melodici.

La scena visiva consiste nella registrazione della percezione della visibilità e del paesaggio circostante effettuate a 360° considerando come punto di osservazione per ogni unità paesaggistica una stazione scelta all'interno del percorso principale. La struttura è divisa in due sottogruppi:

1. visibilità;
2. paesaggio circostante.

Il primo riguarda il rapporto che si viene a creare fra osservatore e fiume e fra osservatore e area di rilevamento. Si dovrà indicare se questo rapporto permette una visione diretta, filtrata, oppure limitata o nulla, delle entità in argomento.

Per il secondo occorre leggere le caratteristiche del secondo piano (se prevalentemente edificato, oppure se coltivato o vegetazionale e se connotato da elementi di degrado) ed osservare la morfologia del territorio (piatto senza sbalzi di quota, con modesti dislivelli o con notevoli dislivelli) registrando la presenza di un margine visivo. Un criterio guida può essere la semplicità visiva, vale a dire la facilità per l'osservatore di comprendere il paesaggio: valori alti sono riservati alle vedute di grande ampiezza e a paesaggi ben definiti ad esempio in presenza di un tessuto dei campi molto ampio e con boschi che permettono equilibrio compositivo con la morfologia del rilievo, ovvero quando la combinazione di prati e aree a pascolo sia in forte contrasto con gli elementi verticali della vegetazione. Valori bassi si riferiscono a vedute di limitata ampiezza e paesaggi confusi.

Tutte le operazioni devono essere effettuate con l'ausilio di una rappresentazione grafica (prevista nella terza pagina della scheda di rilevamento delle caratteristiche del paesaggio).

Il passo successivo alla inventariazione degli elementi consiste nella valutazione sintetica degli elementi individuati che permette di formulare una valutazione delle potenzialità percettive del paesaggio.

La scheda riportata in allegato rappresenta lo strumento per la classificazione dei diversi elementi in funzione di una valutazione delle qualità visive che l'area stessa potenzialmente è in grado di esprimere. La compilazione della scheda dovrà contenere l'individuazione dell'area di rilevamento tramite stralcio cartografico, l'indicazione della sponda idrografica considerata e del punto di stazione, la data del rilievo e delle condizioni climatologiche nell'atto del rilievo.

L'attribuzione di un punteggio a ciascun indicatore avviene attraverso il meccanismo della preferenza visiva.

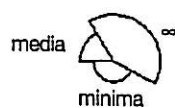
SCHEMA DI RILEVAMENTO DELLE CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO FLUVIALE

Area di rilevamento sinistra Adige	25	26	27	28	29	30	30b	31	32	33	34	35	36	37	
Area di rilevamento destra Adige	25	26	27	28	29	30	30b	31	32	33	34	35	36	37	
Elementi	rilevabili nell'ADR					leggibilità diretta nell'ADR, dai percorsi principali					leggibilità in aree limitrofe all'ADR				
1- EMERGENZE ARCHITETTONICHE															
1.1 CASE ISOLATE RURALI															
a) assenti															
b) presenti →															
- di valore storico	(n)														
- altre di buona qualità architettonica	(n)														
- altre di scarsa qualità architettonica	(n)														
c) le case presentano segni caratteristici (pozzi, cappelle, aie, colombaie, ecc.)															
- no															
- sì, n. case con segni caratteristici															
d) le case presentano elementi superfetativi															
- no															
- sì, n. case															
e) aspetto compositivo e/o tipologico complessivo															
buono															
medio															
scarso															
1.2 CORTI RURALI															
a) assenti															
b) presenti →															
- di valore storico	(n.)														
- altre di buona qualità architettonica	(n.)														
- altre di scarsa qualità architettonica	(n.)														
c) le corti presentano segni caratteristici (pozzi, cappelle, aie, colombaie, ecc.)															
- no															
- sì, n. corti con segni caratteristici															
d) le corti presentano elementi superfetativi															
- no															
- sì, n. corti															
e) aspetto compositivo e/o tipologico complessivo															
buono															
medio															
scarso															
1.3 AGGREGATO RURALE															
a) assenti															
b) presenti →															
- di valore storico															
- alcuni edifici presentano segni caratteristici															
- aspetto compositivo e/o tipologico complessivo															
buono															
medio															
scarso															
1.4 ANNESSI RUSTICI															
a) assenti															
2- VIABILITÀ - INFRASTRUTTURE															
Viabilità	assente														
	presente →														
a- autostrade															
b- strade di scorrimento veloce															
c- strade di collegamento tra centri															
d- strade poderali / interpoderali															
e- strade arginali															
Infrastrutture	assenti														
	presenti →														
a- linee elettriche															
tralicci															
piloni in c.a.															
in legno															
b- centrali elettriche															
c- altro															

Figura 1 (Braioni et al. 1998)

STRALCIO DI PLANIMETRIA 1 : 10.000

Evidenziare eventuali modificazioni intervenute
Individuare ampiezza e profondità dei coni visuali



orientamento



GENERALITÀ SULL'AREA DI RILEVAMENTO

Scheda n.

Stazione n.

Data [.....] g [.....] m [.....] a ore

Sponda orografica dx ☐ sx ☐

Comune Provincia (.....)

Bacino idrografico Fiume

Posizione ADR

a- in tratto rettilineo ☐

b- in curva interna ☐

c- in curva esterna ☐

Condizioni climatologiche

limpido ☐ foschia ☐ nuvoloso ☐

Altro

Figura 3 (Braioni et al. 1998)

GRUPPO 1 - EMERGENZE ARCHITETTONICHE		
1.1 <i>Case isolate rurali</i>	1.1a - assenti: punteggio NEUTRO (0)	1.1b presenti
1.1b1 di valore storico: APICE POSITIVO	1.1b2 altre di buona qualità architettonica: punt. POSITIVO (+1)	1.1b3 altre di scarsa qualità architettonica: punt. NEGATIVO (-1)
1.1c1 - le case non presentano segni caratteristici (pozzi, cappelle, aie, ecc)	punt. NEUTRO (0)	
1.1c2 - le case presentano segni caratteristici (pozzi, cappelle, aie, ecc.):	punt. POSITIVO (+1)	
1.1d1 le case non presentano elementi superfetativi:	punt. POSITIVO (+1)	
1.1d2 le case presentano elementi superfetativi.	punt. NEGATIVO (-1)	
1.1e. - aspetto compositivo e/o tipologico complessivo:		
1.1e1 buono: POSITIVO (+1)	1.1e2 medio: NEUTRO (0)	1.1e3 scarso: NEGATIVO (-1)
1.2 <i>Corti rurali</i>	1.3 <i>Aggregati rurali</i>	1.4 <i>Annessi rustici</i>
1.5 <i>Allevamenti zootecnici</i>	1.5.a assenti: punt. POSITIVO (+1)	1.5.b presenza
	1.5.b1 notevole: APICE NEGATIVO	1.5.b2 - scarsa: punt. NEGATIVO (-1)
1.6 <i>Centri urbani</i>	1.6.a assenti: punt. POSITIVO (+1)	1.6.b-aspetto compositivo e/o tipologico
1.6.b1 buono: punt. POSITIVO (+1)	1.6.b2 medio: punt. NEUTRO (0)	1.6.b3 scarso: APICE NEGATIVO
1.7 <i>Altre tipologie edilizie</i>	1.7.a aspetto compositivo e/o tipologico complessivo	
1.7.a1 buono: punt. POSITIVO (+1)	1.7.a2 medio: punt. NEUTRO (0)	1.7.a3 scarso: punt. NEGATIVO (-1)
1.8 <i>Edifici industriali</i>	1.8.a assenti: punt. POSITIVO (+1)	1.8.b presenza
1.8.b1 notevole: APICE NEGATIVO	1.8.b2 scarsa: punt. NEGATIVO (-1)	1.8.c di archeologia ind.: punt. NEUTRO (0)
1.9 <i>Recinzioni qualità</i>	1.9.1 buona: punt. NEUTRO (0)	1.9.2- scarso: punt. NEGATIVO (-1)
1.1a La casa isolata rurale è considerata un elemento connotativo del paesaggio agrario. Tuttavia, si è ritenuto che la sua assenza non possa configurarsi come indicatore né in senso positivo, né in senso negativo.	tettonica interna al sottogruppo con una valutazione globale che tenga conto dell'incidenza di ogni singola presenza. Questa valutazione viene espressa in considerazione dell'aspetto compositivo complessivo (inteso nella forma delle relazioni intessute con l'ambiente circostante), dell'aspetto tipologico generale (laddove è carente l'esito dell'analisi tipologica può risultare anche gradevole una visione dall'esterno) e dello stato di conservazione di tutti gli edifici. In sostanza, una sorta di sguardo panoramico sulla totalità di edifici che costituiscono il sottogruppo, in modo tale da cercare di dar voce all'unico elemento di positività che può essere riscontrato negli edifici di scarsa qualità architettonica. Sono state previste tre opzioni:	
1.1b La presenza di case rurali costituisce un elemento di caratterizzazione del paesaggio agrario. Sulla scheda trova spazio l'individuazione dei manufatti in argomento secondo una suddivisione di primaria importanza ai fini dell'assegnazione del punteggio:	1.1e1 una buona qualità complessiva tutto sommato costituisce un incremento della valutazione	
1.1b1 nell'ottica dello sviluppo di una sensibilità più acuta nei confronti della conservazione del patrimonio rurale quale fattore costitutivo dell'identità del luogo, si pongono in qualità di indicatori di fondamentale importanza della sensibilità alla trasformazione del territorio	1.1e2 è considerato influente	
1.1b2 non di valore storico, ma comunque distinguibili tipologicamente in quanto in continuità con le fattezze formali delle case tipiche del mondo agrario, quindi realizzate con attenzione al contesto	1.1e3 comporta un decremento della valutazione	
1.1b3 non di valore storico, e appartenenti a quella categoria di edifici costruiti senza attenzione agli aspetti tipologici connotativi della vera casa rurale, da considerarsi pertanto come indicatori di una scarsa sensibilità nei confronti del luogo e come esempi in negativo delle sue possibilità di trasformazione.	1.2 L'esame delle corti rurali, ricalca nella forma e nella sostanza esattamente quanto proposto per le case isolate rurali.	
1.1c La segnalazione di questi elementi può incrementare il valore positivo sopra attribuito alle case di valore storico e a quelle di buona qualità architettonica; naturalmente, non può essere fatto alcun riferimento alle case di scarsa qualità architettonica, in quanto già valutate negativamente dal punto di vista tipologico. Anche in questo caso è stata operata una sub-divisione:	1.3 Anche per l'analisi degli aggregati rurali occorre fare le medesime considerazioni già espresse per le case isolate rurali, seppure in forma ridotta. Infatti, la complessità propria di un aggregato rurale non permette in questa sede una dettagliata analisi tipologica (che, probabilmente, non è neppure necessaria).	
1.1c1 non è comunque da ritenersi un detrattore l'assenza di questi elementi;	1.4 È l'ultimo sottogruppo appartenente alle emergenze architettoniche che, nella valutazione, risponde agli stessi criteri che informano i precedenti tre sottogruppi.	
1.1c2 contribuisce ad aumentare la qualità architettonica complessiva dell'edificio in questione.	1.5a L'allevamento zootecnico è considerato, dal punto di vista del paesaggio, un elemento detrattore in quanto, generalmente, è identificato da strutture architettonicamente di scarsa qualità e di elevatissimo impatto visivo. A questo va aggiunto che si tratta di un'attività da tenere sotto controllo anche sotto l'aspetto igienico-sanitario.	
1.1d Intesi gli elementi superfetativi come parti aggiunte all'edificio secondo criteri incongruenti, con relativo danno per l'estetica e il rapporto con l'ambiente circostante, laddove ne fosse segnalata la presenza, vale, cambiata di segno, la considerazione espressa per il punto c) relativo all'eventuale presenza di segni caratteristici.	1.5b Sulla scorta delle considerazioni appena formulate, si ritiene che la presenza di allevamenti zootecnici si configuri sicuramente come aspetto negativo, modulando il punteggio in funzione dell'intensità della presenza:	
1.1d1 costituisce un incremento della valutazione	1.5b1 la notevole incidenza sul territorio di edifici ad uso zootecnico, costituisce una penalizzante condizione di degrado ambientale	
1.1d2 costituisce un decremento della valutazione	1.5b2 quando gli effetti della presenza di strutture per l'attività zootecnica non si manifesta in modo tale da determinare una situazione di forte	
1.1e Dopo aver espresso un giudizio riguardante ogni singola casa rurale, quest'ultimo punto cerca di riassumere la complessità archi-		

Figura 4 (Braioni et al. 1998)

- degrado.
- 1.6a L'assenza di centri urbani all'interno dell'ADR è positiva
- 1.6b La presenza di centri urbani all'interno dell'ADR, può assumere diverse configurazioni, in dipendenza dell'assetto complessivo del centro urbano. Si propongono tre diversi gradi di qualità:
- 1.6b1 nel caso in cui il centro urbano esprima quelle caratteristiche architettoniche tipiche della frazione o del borgo di formazione prettamente rurale
- 1.6b2 da attribuire ai centri urbani non connotati dalle caratteristiche descritte nel punto precedente, ma che tuttavia non si pongono come elementi di degrado in quanto muniti di una propria dignità formale;
- 1.6b3 il riferimento è a quegli agglomerati urbani che contengono in sé elementi di degrado talmente evidenti (edificazione intensiva, attività industriali e artigianali, traffico automobilistico, ecc.) da dar luogo all'attribuzione di un punteggio molto negativo.
- 1.7a L'oggetto principale è la casa d'abitazione residenziale, che sempre di più va sostituendosi alle case rurali vere e proprie. Possiamo trovare anche altri edifici, di uso residenziale o meno, che – seppur avulsi dal contesto nel quale si trovano – possono essere considerati "oggetti" di notevole qualità architettonica. La sub-divisione con tre diversi gradi di valutazione considera queste possibili differenze:
- 1.7a1 dove la presenza di questi "oggetti" di notevole qualità architettonica è significativa ;
- 1.7a2 da attribuire alle situazioni dove esiste, ma è poco rilevante, l'incidenza delle tipologie edilizie dequalificanti;
- 1.7a3 quando la presenza delle suddette tipologie costituisce una realtà incisiva, come nel caso in cui siano associate a lottizzazioni.
- 1.8a L'assenza di questa tipologia è positiva. Dal punto di vista del paesaggio, gli edifici industriali sono generalmente considerati un elemento detrattore, sia per il violento impatto visivo di cui sono responsabili, sia perché sotto l'aspetto dell'inquinamento costituiscono molto spesso un problema.
- 1.8b La presenza di edifici industriali rappresenta comunque un fatto negativo. Si pone, però, la necessità di modulare la valutazione in rapporto all'intensità della loro presenza, sulla base della seguente suddivisione:
- 1.8b1 la notevole incidenza sul territorio di edifici ad uso industriale, costituisce indubbiamente una dannosa condizione di degrado ambientale
- 1.8b2 quando gli effetti della presenza di edifici industriali si manifesta in modo tale da determinare una limitata situazione di degrado ambientale;
- 1.8c disattivati dalle loro funzioni molto spesso dannose per l'ambiente, questi edifici dismessi si configurano come contenitori dotati molte volte anche di pregevoli fattezze architettoniche. In situazioni del genere si attribuisce un punteggio NEUTRO (0), che comunque tiene conto delle pregevoli fatture di questi manufatti svuotati del loro significato.
- 1.9 Le recinzioni riguardano l'ultimo sottogruppo legato alle emergenze architettoniche. La valutazione è legata alla diversa qualità formale attribuibile alle diverse tipologie:
- 1.9.1 in presenza di manufatti bene inseriti nel contesto e pregevoli per materiali e fattura, la presenza, anche se positiva, non è così forte da poter essere funzionale all'incremento della valutazione;
- 1.9.2 quando la presenza di recinzioni costituisce elemento di degrado, come nel caso in cui siano realizzate con materiali inadeguati e con metodi incuranti del rapporto con il paesaggio circostante.

GRUPPO 2 - VIABILITÀ E INFRASTRUTTURE

2.1 Viabilità	2.1.1 assente: POSITIVO(+1)	2.1.2 presente:
2.1.2.a - <i>autostrade</i>	pres. modesta: APICE NEGATIVO	pres. notevole: APICE NEGATIVO
2.1.2.b - <i>strade scorrimento veloce</i>	pres. modesta: APICE NEGATIVO	pres. notevole: APICE NEGATIVO
2.1.2.c - <i>strade collegamento fra centri</i>	pres. modesta: punt. NEUTRO (0)	pres. notevole: punt. NEGATIVO (-1)
2.1.2.d - <i>strade poderali e interpoderali</i>	pres. modesta: punt. POSITIVO (+1)	pres. notevole: punt. NEUTRO (0)
2.1.2.e - <i>strade arginali</i> :	pres. modesta: punt. POSITIVO (+1)	pres. notevole: punt. NEUTRO (0)
2.2 Infrastrutture	2.2.1 assenti: punt. POSITIVO (+1)	2.2.2 presenti
2.2.2.a - <i>linee elettriche, tralicci, piloni (in c.a. -legno)</i>	presenza modesta: punteggio NEUTRO (0)	presenza notevole: punteggio NEGATIVO (-1)
2.2.2b - <i>centrali elettriche</i>	presenza modesta: APICE NEGATIVO	presenza notevole: APICE NEGATIVO
2.2.2c - <i>altre</i> : APICE NEGATIVO		

- 2.1.1 L'assenza di qualsiasi viabilità è ben difficilmente rintracciabile, parecchie volte poco auspicabile e comunque la fruizione del territorio non può prescindere dalla presenza di vie di comunicazione, pur costituendo l'assenza un vantaggio della naturalità del paesaggio:
- 2.1.2.a rappresentano le vie di comunicazione di maggior impatto ambientale, sia dal punto di vista visivo, sia sotto l'aspetto relativo all'inquinamento in senso lato (cementificazione, salubrità dell'aria, rumore), oltre che costituire delle barriere praticamente invalicabili.
- 2.1.2.b rientrano strade statali, provinciali e comunali, che uniscono i centri abitati di comuni diversi. L'impatto ambientale è certamente inferiore a quello causato dalle autostrade, ma sempre strutture in grado di riflettersi negativamente sulla percezione del paesaggio.
- 2.1.2.c rientrano le strade asfaltate che uniscono le diverse frazioni di un medesimo comune, e che sono contraddistinte da un traffico limitato e da una velocità di scorrimento ridotta con un impatto sul paesaggio molto ridotto.
- 2.1.2.d sono le vie di comunicazione proprie del mondo rurale. Molte di queste strade sono a tutt'oggi sterrate (capezzagne); altre, per effetto dell'ispessimento di alcuni aggregati rurali, si presentano con il fondo asfaltato pur mantenendo buona parte dei connotati originari (dimensioni, filari di alberi, diretto contatto con la campagna). Non comportano degrado a livello paesaggistico e, in certi casi, contribuiscono a qualificare un'area in quanto ne permettono la percorribilità.
- 2.1.2.e sono vie di percorrenza molto importanti in quanto, per le loro caratteristiche, possono rappresentare i "percorsi principali" per una lettura "dall'interno" del paesaggio. Sono quasi sempre sterrate e, se di modesta presenza, costituiscono un elemento che qualifica l'ADR.
- 2.2 Comprende le linee elettriche con i relativi sostegni, le centrali elettriche, e manufatti diversi quali le dighe, i ponti, ed altri. È attribuita un'accezione negativa, pur rivestendo importanza notevole. Tuttavia dal punto di vista visivo costituiscono un impatto di grande evidenza quando la collocazione non ha tenuto conto del rapporto con il paesaggio.
- 2.2.2.a Il paradosso è che determinano un impatto visivo negativo (e non solo visivo, se pensiamo per esempio ai danni che la presenza di campi elettromagnetici provoca sull'uomo), ma sono assolutamente indispensabili. La loro collocazione è spesso frutto di interventi approssimativi, effettuati senza un adeguato studio sui possibili effetti dell'installazione:
- è attribuito un punteggio sia alla linea elettrica sia agli elementi che

Figura 5 (Braioni et al. 1998)

- la sostengono (tralicci o piloni). L'incidenza visiva è attenuata sia dalla presenza diradata, sia dalla "trasparenza" delle infrastrutture. Alla presenza notevole non si è attribuito un apice negativo in quanto, a livello di impatto visivo, la linea elettrica, anche se presente in modo notevole, non si pone mai come una barriera totalmente di ostacolo alla vista permettendo sempre, in qualche modo, la percezione di ciò che sta oltre. Va comunque tenuto conto che l'impatto visivo, con l'aumentare della presenza fisica di linee elettriche, tralicci e piloni, si accentua sensibilmente;
- 2.2.2b l'impatto prodotto sul paesaggio dalla presenza di una centrale elettrica non ha bisogno di commenti. Naturalmente, può trattarsi anche di un impatto regolato da provvedimenti studiati per diminuire la violenza dovuta all'inserimento nel paesaggio. Tuttavia la loro presenza costituisce comunque un elemento di degrado per l'ambiente.
- 2.2.2c nella nostra situazione, la diga costituisce un'infrastruttura di notevole irruzione nel territorio a prescindere dall'utilità che riveste sotto l'aspetto dell'ingegneria idraulica
- 3.1 L'assenza di qualsiasi forma di vegetazione in un contesto come le aree di pertinenza fluviale è specchio di un totale degrado.
- 3.2 La presenza di elementi vegetazionali contempla solo in pochi casi l'attribuzione di punteggi negativi. La diversificazione dei punteggi è legata al differente rapporto fra qualità naturalistica e qualità visiva che caratterizza ogni singolo elemento.
- 3.2.a inteso come associazione vegetale formata da alberi di alto fusto, arbusti e cespugli costituitisi spontaneamente, il bosco è considerato un'alta espressione di naturalità che favorisce la biodiversità. Congiuntamente a questo aspetto, si offre alla vista come elemento di grande pregnanza.
- 3.2.b intesa come insieme di alberi e arbusti di dimensione ridotta rispetto al bosco, rappresenta comunque una significativa presenza di naturalità, che si traduce alla vista come elemento di alto pregio.
- 3.2.c si configura come altamente positiva dal punto di vista ecologico, in quanto contribuisce ad aumentare la complessità biologica degli ambienti coltivati, inoltre costituisce un importante elemento di arricchimento del paesaggio.
- 3.2.d visivamente costituiscono uno spunto interessante, soprattutto per il contrasto determinato dalla loro presenza isolata nell'orizzontalità della campagna che li circonda. Si tratta di esemplari visibili in modo evidente -notevoli, appunto- che devono questa caratteristica principalmente alla loro età. Anche per questo sono meritevoli di tutela.
- 3.2.e elemento un tempo caratterizzante le nostre campagne, ora si è praticamente estinto a causa delle necessità dell'agricoltura intensiva. Importante anche dal punto di vista ecologico, per la sua capacità di contribuire all'arricchimento della complessità biologica degli ambienti coltivati, dal punto di vista visivo costituisce indubbiamente un momento di grande interesse.
- 3.2.f ha costituito per lungo tempo una presenza caratteristica nelle nostre campagne, connotando le principali strade di accesso alle case rurali. Oltre ad essere pregevolissimo alla vista, dal punto di vista ecologico fornisce un indubbio contributo nella direzione della conservazione della complessità biologica degli ambienti coltivati.
- 3.2.g vegetazione tipica in una zona fluviale. Fatte salve zone alquanto paludose sulle quali mantiene costante la presenza, è soggetta alle oscillazioni dovute alle necessità dei conduttori delle aziende agricole. Riteniamo comunque che si tratti di un elemento di caratterizzazione dell'ambito fluviale meritevole di un punteggio positivo
- 3.2.h l'attribuzione dei punteggi alle diverse colture agricole risente di molteplici considerazioni legate all'intreccio di aspetti visivi e di aspetti naturalistici. Sono state considerate sei diverse varietà di coltura che vengono analizzate singolarmente:
- 3.2.h1 comprendono le formazioni prative stabili, compresi i medicai. Si tratta di colture estensive che, per l'impiego di diserbanti e concimi, contribuiscono a limitare la naturalità complessiva dell'area. Tuttavia, visivamente non producono alcun impatto, anche se l'eccessiva estensione non è comunque da ritenersi paesaggisticamente qualificante
- 3.2.h2 sono rappresentate in larga misura da cereali quali il mais e dalla soia. Dal punto di vista ecologico, sono intensamente antropizzate mediante massicci apporti energetici esterni all'ecosistema, vale a dire concimazione e diserbo, e costituiscono quindi una limitazione alla diffusione della naturalità. Come per le colture erbacee, l'impatto visivo è molto basso e, se l'estensione della coltura non è elevata, è possibile esprimere anche un giudizio di accettazione
- 3.2.h3 è possibile esprimersi negli stessi termini proposti per le colture prative e cerealicole, considerando l'alto grado di antropizzazione che ne determina il processo
- 3.2.h4 visivamente offre una massa vegetazionale sicuramente gradevole nel suo rapporto con la pianura che la accoglie. Tuttavia, non dobbiamo dimenticare che si tratta di una coltura piuttosto aggressiva nei confronti della falda acquifera e in grado di abbassare il livello di naturalità, anche se l'apporto energetico esterno all'ecosistema è ridottissimo e certo non paragonabile a quello proprio dell'agricoltura intensiva
- 3.2.h5 dal punto di vista culturale frutteti e vigneti prevedono un intervento specializzato mediante trattamenti antiparassitari e concimazioni chimiche. Il grado di naturalità, pertanto, è piuttosto ridotto anche se l'agroecosistema è meno semplificato rispetto alla monocoltura. Visivamente offre una massa vegetazionale e una variazione cromatica di un certo interesse
- 3.2.h6 in posizione più favorevole nei riguardi della naturalità si collocano invece le aree incolte. Dal punto di vista visivo è opportuno limitare la presenza di zone incolte.

GRUPPO 3 - ELEMENTI VEGETAZIONALI

3.1 assenti: APICENEGATIVO	3.2 presenti	
3.2.a bosco	presenza modesta: APICE POSITIVO	presenza notevole: APICE POSITIVO
3.2.b massa arborea	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: APICE POSITIVO
3.2.c vegetazione arbustiva	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: punt. POSITIVO (+1)
3.2.d alberi isolati notevoli	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: punt. POSITIVO (+1)
3.2.e filari	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: punt. POSITIVO (+1)
3.2.f viali alberati	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: punt. POSITIVO (+1)
3.2.g canneto	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: punt. POSITIVO (+1)
3.2.h colture		
3.2.h.1 colture prative	presenza modesta: punt. NEUTRO (0)	presenza notevole: punt. NEGATIVO (-1)
3.2.h.2 colture cerealicole	presenza modesta: punt. NEUTRO (0)	presenza notevole: punt. NEGATIVO (-1)
3.2.h.3 colture ortensi	presenza modesta: punt. NEUTRO (0)	presenza notevole: punt. NEGATIVO (-1)
3.2.h.4 pioppeto	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: punt. NEUTRO (0)
3.2.h.5 frutteto / vigneto	presenza modesta: punt. POSITIVO (+1)	presenza notevole: punt. NEUTRO (0)
3.2.h.6 incolto	presenza modesta: punt. NEUTRO (0)	presenza notevole: punt. NEGATIVO (-1)

Figura 6 (Braioni et al. 1998)

4.1	I segni d'acqua sono elementi molto importanti all'interno di un ambito fluviale. Non si può però configurare la situazione opposta come totalmente negativa in quanto che, molto spesso, la presenza di acque nell'entroterra fluviale ha molto a che fare con l'agricoltura, con tutti i rischi che questo può comportare.	4.2b	di 5 m in larghezza) riscontrabili sul territorio canalizzazioni artificiali di notevole dimensione, comunque di larghezza superiore a 5 metri.
4.2	La presenza di segni d'acqua è rilevata tenendo conto di due diversi ordini di distinzioni: la presenza o l'assenza di vegetazione spondale; il modo di darsi alla vista del segno d'acqua, espressa come modesta o notevole. Naturalmente, il grado di naturalità o di antropizzazione corrispondono anche alle accezioni, positiva o negativa, attribuite alla percezione.	4.2c	canalizzazioni naturali che in qualche modo hanno risentito dell'intervento antropico.
4.2a	tutte le canalizzazioni di modeste dimensioni (fino ad un massimo	4.2d	le zone umide sono un elemento di eccezionale importanza che attualmente è sempre meno riscontrabile a causa delle operazioni di drenaggio che vengono attuate allo scopo di recuperare spazi per l'agricoltura intensiva. A quanto rimane di queste oasi di naturalità, che siano munite o meno di vegetazione arborea e arbustiva, che siano di modesta o di notevole presenza, viene assegnato un apice positivo

GRUPPO 4 - ELEMENTI D'ACQUA

4.1 assenti:	punteggio NEUTRO (0)	4.2 presenti	
4.2a canalizzazioni minori		4.2a 1 <i>interrata</i>	4.2a.1a <i>coperta</i>
presenza modesta:	punt. NEUTRO (0)	vegetazione spondale assente:	punt. NEUTRO (0)
presenza notevole:	punt. NEUTRO (0)	vegetaz. spondale presente:	punt. POSITIVO (+1)
4.2a.1b <i>scoperta</i>			
presenza modesta:	punt. POSITIVO (+1)	vegetazione spondale assente:	punt. NEUTRO (0)
presenza notevole:	punt. NEUTRO (0)	vegetaz. spondale presente:	punt. POSITIVO (+1)
4.2a.2 <i>sopraelevata</i>		4.2a.2a <i>su manufatti in c.a.</i>	
presenza modesta:	punt. NEGATIVO (-1);	presenza notevole:	APICE NEGATIVO
4.2a.2b <i>su terrapieno</i>			
presenza modesta:	punt. NEUTRO (0)	vegetazione spondale assente:	punt. NEUTRO (0)
presenza notevole:	punt. NEGATIVO (-1)	vegetaz. spondale presente:	punt. POSITIVO (+1)
4.2b canali			
presenza modesta:	punt. NEUTRO (0)	vegetazione spondale assente:	punt. NEUTRO (0)
presenza notevole:	punt. NEGATIVO (-1)	vegetaz. spondale presente:	punt. NEGATIVO (+1)
4.2c fossi			
presenza modesta:	punt. POSITIVO (+1)	vegetaz. spondale assente:	punt. POSITIVO (+1)
presenza notevole:	APICE POSITIVO	vegetaz. spondale presente:	APICE POSITIVO
4.2d zone umide:	APICE POSITIVO		
canalizzazioni naturali che in qualche modo hanno risentito dell'intervento antropico.			
presenza modesta:	punt. POSITIVO (+1)	vegetazione spondale modesta:	punt. POSITIVO (+1)
presenza notevole:	APICE POSITIVO	vegetaz. spondale notevole:	APICE POSITIVO

GRUPPO 5 - ALTRI ELEMENTI

Si dividono in due categorie: detrattori e attrattori. Queste accezioni, logicamente, sono direttamente correlate agli obiettivi proposti, costante riferimento per ogni nostro giudizio di valore.			
5a- detrattori:	5a.1 assenti: punt. POSITIVO (+1)		
5a.2 presenti			
5a.2a rumori:	punt. NEGATIVO (-1)	5a.2b odori sgradevoli perm.:	punt. NEGATIVO (-1)
5a.2c depositi di rifiuti			
5a.2c1 estesi:	punt. NEGATIVO (-1)	5a.2.c2 limitati:	punt. NEUTRO (0)
5a.2d - rottamai:	PICCONEGATIVO		
5a.2e vicinanza con zone urbanizzate:	punt. NEGATIVO (-1)	5a.2.f frequentaz. turistica disordinata:	punt. NEUTRO (0)
5a.2g cave	5a.2g1 attive: APICE NEGATIVO	5a.2g2 dismesse:	punt. NEGATIVO (-1)
5a.2.h strutture agricole (tunnel, reti antigrandine):	punt. NEGATIVO (-1)	5a.2i altro	
5b- attrattori	5b.1.assenti: punteggio NEGATIVO (-1)	5b.2 presenti	
5b.2a suoni melodici:	punteggio POSITIVO (+1)		
5b.2b variazioni cromatiche	5b.2b1 lievi: punt. NEUTRO (0)	5b.2b2 contrastanti:	punt. POSITIVO (+1)
5b.2c coltivazioni a mosaico:	punteggio POSITIVO (+1)		
5a.	Come è facilmente comprensibile, si tratta di tutti quegli elementi in grado con la loro presenza di contribuire alla dequalificazione del paesaggio. Sono inseriti in questo gruppo, tutti i detrattori non appartenenti agli altri gruppi che non costituiscono la scheda.		
5a.2a.	quei rumori permanenti in grado di arrecare disturbo alla frequentazione della zona		
5a.2b.	quegli odori permanenti che, provenienti da fonti diverse, possono rendere sgradevole la frequentazione della zona		
5a.2c1.	a fronte della presunta difficoltà di eliminazione		
5a.2c2.	come piccole discariche abusive di materiali vari, in ragione di una ipotetica facile rimozione		

5a.2d.	causato tanto dalla presenza intrusiva di forte impatto, quanto dall'inquinamento derivante dalla presenza e dalle lavorazioni che vengono effettuate sui materiali che vi sono depositati	5a.2i.	per chi dovesse utilizzare questa nostra scheda di rilevamento in località diverse, questo spazio può servire per completare la descrizione laddove e ne presentasse la necessità. I punteggi, in questo caso, dovranno essere attribuiti da chi condurrà la ricerca, sempre coerentemente con gli obiettivi prefissati;
5a.2e.	dovuto sia all'impatto visivo causato dalla presenza della forte concentrazione di abitazioni e attività varie, quanto dal potenziale inquinante che da queste si sprigiona	5b.	Elementi che potrebbero contribuire alla qualificazione del paesaggio, non necessariamente visibili, comunque in grado di stimolare i sensi
5a.2.f.	può essere cagione di disturbo. Tuttavia si ritiene che possa essere in qualche modo controllabile	5b.2a.	rintracciabili in modo sensibile in presenza di zone ad alta naturalità, comportano un aumento della godibilità del luogo
5a.2g1.	a causa dei gravi danni ecologici e del forte impatto visivo, causato sia dalle strutture che dagli effetti dell'escavazione	5b.2b1.	sono quelle variazioni cromatiche che insistono su colori simili
5a.2g2.	risulta proponibile un possibile intervento di rinaturalizzazione pur trattandosi di strutture rimovibili, di fatto restano stabilmente sul territorio. In talune circostanze, non è forse possibile prescindere dalla loro utilizzazione, ma riteniamo che possa comunque esistere la possibilità di realizzare simili manufatti in modo tale da ridurre l'impatto con la vista	5b.2b2.	quando colori molto diversi si accostano a formare variazioni cromatiche molto sensibili
5a.2h.		5b.2c.	in presenza di varietà culturale, ritenuta da noi positiva in quanto produttrice di una certa articolazione formale in antitesi alla monotonia della coltura intensiva.

GRUPPO 6 - SCENA VISIVA

Si propone di indagare il rapporto percettivo fra osservatore e fiume, fra osservatore e ADR e fra osservatore e paesaggio circostante, attraverso l'ampiezza del cono visivo considerato percorrendo i percorsi principali; una visione panoramica, dunque, il cui punteggio viene attribuito secondo la seguente articolazione:

6.1	Visibilità		
a1-	diretta del fiume: punteggio POSITIVO (+1)	a2-	diretta dell'ADR: punteggio POSITIVO (+1)
b1-	filtrata del fiume: punteggio POSITIVO (+1)	b2-	filtrata dell'ADR: punteggio POSITIVO (+1)
	se a causa di sbarramento naturale		se a causa di sbarramento naturale
c1-	limitata o nulla del fiume: punt. POSITIVO (+1)	c2-	limitata o nulla dell'ADR: punt. POSITIVO (+1)
	se a causa di sbarramento artificiale		se a causa di sbarramento artificiale
c1-	limitata o nulla del fiume: APICE NEGATIVO	c2-	limitata o nulla dell'ADR: punt. POSITIVO (-1)
6.2	Paesaggio circostante		
6.2a-	non visibile: punteggio POSITIVO (+1)	6.2a.	non visibile: punteggio NEGATIVO (-1)
	se l'impedimento visivo è di carattere naturale		se la non visibilità è indotta da cause artificiali
6.2 b-	secondo piano punteggio POSITIVO (+1)	6.2 b-	secondo piano punteggio NEGATIVO (-1)
	se prevalentemente coltivato o vegetazionale,		se prevalentemente edificato, se è connotato dalla presenza di elementi di degrado
6.2c-	morfologia: punteggio POSITIVO (+1)		
6.2.	In questo caso l'attribuzione del punteggio sarà data in funzione del tipo di percezione ottenuto spaziando a 360° e rilevato in corrispondenza dei quattro punti cardinali.		sembrato giustificabile proporre un diverso punteggio in funzione di lievissimi sbalzi di quota. Diverso sarebbe stato il caso in cui queste forme della natura avessero comportato una sensibile variazione del territorio a livello di percezione (tratto da BRAIONI A. et al., 1996)
6.2c.	Avendo considerato che si tratta di un connotato che è dato, e che il nostro territorio di analisi è sostanzialmente omogeneo, non ci è		

Figura 8 (Braioni et al. 1998)

2.2.3.2 Metodi di rilevamento

I censimenti faunistici rappresentano il passo decisivo per determinare il valore di un habitat da un punto di vista della sua appetibilità per la fauna e il valore ideale, scientifico e ricreativo del territorio. Permettono, non di meno, di ipotizzare la frequentazione faunistica potenziale del sito della cassa e danno indicazioni sul tipo di pianificazione ambientale ottimale da prevedere per il territorio di pertinenza della stessa. L'indagine sulla fauna riparia e ittica ha importanza soprattutto per la verifica a termine costruzione mediante periodici monitoraggi.

Il metodo usato e l'area indagata per questi rilievi sono diversi a seconda delle caratteristiche biologiche ed etologiche dei taxa d'interesse.

Si riportano di seguito i metodi utilizzabili ai fini della caratterizzazione dei popolamenti dei vari gruppi animali. Essi dovranno essere scelti a seconda delle caratteristiche specifiche dell'habitat della cassa di espansione progettata. Indicativamente, data la stretta relazione degli Anfibi con le periodiche sommersioni

delle casse d'espansione, questo gruppo dovrà essere preso particolarmente in considerazione. Analogamente la diversità dell'avifauna indica il grado di varietà ambientale raggiunto. Nel caso di acque correnti si prescrive l'analisi dei macroinvertebrati con l'indice I.B.E. anche in considerazione della sua ufficialità (D.lgs. 152/99).

Pesci

I prelievi di pesci per i censimenti di un certo tratto di fiume o di un bacino lentico si effettuano con il metodo della pesca elettrica. Lo strumento di cattura è un "elettrostorditore", un generatore che creando un campo elettrico provoca lo stordimento del pesce e una leggera narcosi.

I parametri indispensabili ai fini della caratterizzazione ecologica di un popolamento ittico sono il tipo ed il numero di specie presenti. Da questi dati assieme alle taglie degli individui si può calcolare un *Indice ittico*. Per stimare la biomassa occorrono analisi più approfondite sulla dinamica della popolazione che comportano l'analisi delle scaglie dei pesci per determinare le classi di età presenti nel popolamento stesso.

Invertebrati

La comunità di macroinvertebrati bentonici, ovvero che vivono sul fondo di un corso d'acqua, viene utilizzata mediante il metodo I.B.E. (*Indice Biotico Esteso*), ufficialmente riconosciuto dal D.Lgs. 130/92, per determinare la qualità delle acque. Il rilievo viene effettuato mediante cattura con un retino a maglie di 375 mm di ampiezza. L'obiettivo delle singole catture è la raccolta di una comunità di organismi abbastanza rappresentativa dal punto di vista qualitativo e quantitativo, in modo da ottenere una misura della varietà (numero taxa/campione) ma anche dell'abbondanza relativa (n° org./campione) dei vari taxa. L'organizzazione delle catture avviene lungo transeetti, all'interno dei quali si campionano tutti i microhabitat presenti.

L'indice I.B.E. implica che per gli organismi campionati si raggiunga un dato livello di determinazione tassonomica, secondo le indicazioni riportate in Ghetti (1986). La determinazione degli organismi può essere effettuata tramite chiavi tassonomiche e guide facilmente disponibili sul mercato (Tachet et al. 1980, CNR 1980 - 81 - 82 - 83, Sansoni 1988). L'Indice Biotico Esteso assume valori compresi tra 0 e 16.

Anfibi

L'individuazione degli anfibi è puntuale, in ragione del legame vincolante tra questi animali e le zone umide. Pertanto i censimenti saranno limitati ai biotopi umidi presenti nell'area di studio, questa, tuttavia, può comprendere biotopi distanti fra loro e quindi essere di notevole estensione. Il periodo ideale per l'effettuazione dei censimenti è quello riproduttivo poichè le specie sono più facilmente riconoscibili, tra i mesi di marzo e luglio in una o due sessioni di campionamento al mese. Questa ripartizione temporale delle osservazioni permette di indagare tutte le specie che presentano un periodo di riproduzione precoce, puntuale o tardivo.

Le metodologie da utilizzare per eseguire i censimenti sono: la cattura di adulti e giovani tramite reti, la ricerca di ovature, l'osservazione delle larve e l'ascolto dei canti. L'identificazione delle specie viene effettuata grazie all'ausilio di guide (Arnold e Burton, 1986; Lanza, 1983) e di audiocassette contenenti le registrazioni dei canti. In ogni visita deve essere compilata una scheda riportante i parametri essenziali per la descrizione del biotopo (vd. descrizione ecosistemi acquatici). Tali parametri devono poi essere usati nell'a

nalisi statistica (*analisi univariata e multivariata*) per l'individuazione di quelli che influenzano la distribuzione degli anfibi.

Avifauna

Esistono diversi tipi di censimenti avifaunistici, ma, nel caso degli ambiti di pianura fortemente antropizzati caratterizzati da un mosaico ambientale piuttosto variegato ma comunque caratterizzato da una matrice agricola prevalente, si consiglia di utilizzare il metodo E.F.P. di Blondel (1975). L'area di studio da considerare è di dimensioni tanto più grandi quanto è varia la composizione ambientale del territorio e deve comprendere eventuali biotopi di buona qualità che ricadano in un intorno di raggio pari alla probabile area di influenza della cassa di espansione. Il periodo di censimento ottimale corrisponde alla stagione riproduttiva.

L'E.F.P. permette di investigare ampie superfici, in quanto basato su stazioni di ascolto (punti fissi da cui il ricercatore registra le specie che riesce a vedere o udire) distanziate e casualmente disperse nell'area di studio. Questa tecnica di censimento è definita frequenziale perché in ogni stazione di ascolto viene registrata solo la presenza delle varie specie, senza ricercare ulteriori informazioni circa la loro entità numerica (abbondanza). In questo modo si ottengono delle frequenze di registrazione delle specie individuate nelle stazioni visitate.

Allo scopo di ottenere indici sintetici di valore ambientale ad ogni specie si può assegnare un punteggio in base a tre criteri: 1) sensibilità all'antropizzazione, escludendo quella derivante da attività agricole di tipo tradizionale; 2) ristrettezza della nicchia spaziale; 3) rarità e/o diminuzione a scala regionale.

Mammiferi

I censimenti di mammiferi presentano non pochi problemi in quanto la natura criptica e molto mobile di questi animali li rende difficilmente osservabili in campo.

La semplice determinazione della presenza dei mammiferi può essere realizzata attraverso lo studio degli indizi lasciati dagli animali nel loro ambiente: tracce sul terreno e sulle piante, tane di diverso tipo, resti di cibo, boli, residui di mute, feci ecc. Ad esempio esiste un indice che permette di calcolare, una volta trovata una tana o un altro punto di riferimento e fissata un'area ad essa concentrica di dato raggio, il numero di animali frequentanti tale area, in base al numero di impronte trovate al suo interno.

Ma per avere una sicura stima quantitativa dell'importanza delle popolazioni occorre intraprendere studi di campagna specifici eventualmente effettuando catture con modalità diverse a seconda delle diverse specie.

Tali metodi sono da prescrivere in particolar modo nel caso di specie di un certo interesse turbate dall'influsso antropico o a rischio di estinzione o al contrario nel caso di specie la cui proliferazione possa essere causa di danni ambientali o economici o possa mettere in qualche modo a rischio la salute pubblica.

Parametri importanti per la caratterizzazione dei censimenti sono gli *indici di diversità di Shannon e Weaver* (1963) e di *equiripartizione di Pielou* (1966), applicati all'insieme dei campionamenti delle stazioni di ciascuna delle diverse tipologie ambientali. È utile anche determinare il livello di dominanza delle specie indicizzato attraverso il *valore di Turcek* (1956), infatti la presenza di una o più specie dominanti può essere indicativa di qualche particolare caratteristica ecologica dell'habitat in questione. Il metodo descritto non per-

mette di ricavare direttamente informazioni sul tipo di relazione ecologica esistente tra le specie e l'ambiente di segnalazione, tale informazione può derivare da studi pregressi riferiti alla stessa area di studio o ad aree limitrofe, oppure a bibliografie generiche quali atlanti e guide. Tuttavia, nonostante i limiti, il metodo consente di ricavare una impressione sufficientemente esaustiva sulla potenzialità faunistica del territorio in esame. Tale potenzialità può essere rappresentata graficamente attraverso uno schema dell'area di studio dove si riportano le varie stazioni, ciascuna con simboli o colori diversi a seconda della ricchezza in specie riscontrata a seguito del censimento.

2.3 Aspetti socio economici

La costruzione delle casse d'espansione, data la richiesta di superficie, potrà comportare un'occupazione di territorio agricolo, il quale pur non perdendo la risorsa suolo, sarà oggetto di frequenti sommersioni che limiteranno o renderanno inconveniente il proseguimento della coltivazione. Andranno accuratamente valutati i danni subiti dalle aziende interessate, anche in relazione alla struttura dell'azienda ed all'accessibilità ai fondi limitrofi alla cassa d'espansione. Nella valutazione occorrerà anche quantificare gli effetti positivi di riduzione dei danni da piena sui coltivi a valle, a seguito della costruzione della cassa d'espansione.

L'analisi socio-economica dovrà prendere in considerazione anche le attività ricreative che si svolgono sul fiume, in particolare quelle della pesca. Le analisi in quest'ultimo caso ricadono sulla valutazione degli effetti della cassa d'espansione sulla fauna ittica precedentemente affrontati, che andranno affrontati anche nei termini di possibilità di risalita dei pesci.

2.4 Indice sintetico della naturalità

Metodi sintetici per la valutazione complessiva dello stato attuale dell'ambiente ripario e come supporto per verificare la compatibilità ambientale delle scelte progettuali sono quelli dell'RCE-2 (*Siligardi e Maiolini*, 1993) e di *Braioni et al.* (1994).

L'indice RCE-2 è un parametro fisionomico, che prende in considerazione diversi aspetti dell'ecosistema fluviale, definisce lo *stato di naturalità* del corso d'acqua e le sue potenzialità di *difesa e reazione* nei confronti dell'antropizzazione del territorio. La sua applicazione consente pertanto di valutare la vulnerabilità dell'ambiente fluviale e ottenere una griglia di riferimento utile per interventi o azioni mirate di conservazione, ripristino e riqualificazione ambientale.

Il metodo di Braioni prende in considerazione 31 variabili relative allo stato idrologico, al grado di antropizzazione alla morfologia del letto fluviale e delle ripe, alla presenza di golene, isole, anse, meandri; di vegetazione riparia arborea, arbustiva, erbacea, alla tipologia ed estensione delle colture agrarie, alla presenza di animali vertebrati e invertebrati, di opere e manufatti quali costruzioni, arginature, opere trasversali e alla frequentazione ed uso delle rive (es. pesca, escursionismo, osservazione naturalistica, turismo ecc.).

Il giudizio di valore finale si articola su quattro piani:

1. valore naturalistico;
2. valore di zona filtro;
3. valore didattico;
4. valore paesaggistico.

La valutazione che si ottiene con l'elaborazione dei dati sperimentali è riferita alla sommatoria dei singoli punteggi parziali e alla interazione fra fattori che amplificano o smorzano la loro reciproca azione. Sulla base di tali risultati si può redigere la carta di sintesi della zonizzazione ambientale.

3. Valutazione integrata di impatto

3.1 Generalità

La descrizione dello stato di dei luoghi è la premessa fondamentale per definire il tipo di impatto indotto dalla cassa di espansione sull'ambiente ripario. Sulla base del progetto di sistemazione finale, tale impatto deve essere valutato confrontando lo stato di alcuni parametri ecologici e ambientali, assunti come criteri decisionali, nella previsione in fase di costruzione e di esercizio dell'opera.

La scelta degli indicatori ricade su parametri che siano sufficientemente significativi, di semplice rilevazione, e di vasta applicabilità.. Viene pertanto proposta una metodologia per la valutazione comparativa di diverse soluzioni attraverso l'identificazione della loro valenza ambientale.

Le scelte progettuali devono essere valutate singolarmente per ciascuno di tali criteri, mediante una scala qualitativa che tenga conto dell'effetto dell'opera su ogni parametro di riferimento. In tal modo si può attribuire al progetto un punteggio che lo inquadri in una scala quantitativa di riferimento.

3.2 Criteri di valutazione

Alla luce delle conoscenze di base sull'ecologia degli ambienti fluviali e sulle caratteristiche del sito scelto per l'ubicazione della cassa, si possono stilare i principali criteri che dovrebbero guidare la valutazione dei progetti e del loro inserimento ambientale. Questi sono riportati nei sottoparagrafi che seguono.

3.2.1 Criterio n° 1: Protezione e recupero di biotopi esistenti

L'insieme dei biotopi ripariali costituisce un mosaico di straordinaria importanza ecologica che assolve a molteplici funzioni: fra questi, tampone per i nutrienti in arrivo dai campi circostanti, ritenzione del flusso idrico e depurazione, riproduzione e ambiente di svezzamento per l'ittiofauna, rifugio per la fauna selvatica, sosta per uccelli migratori ed altri animali in transito, conservazione del *pool genetico* per la microevoluzione, irradiazione di specie vegetali autoctone. Essendo un ecosistema aperto, il fiume viene condizionato fortemente dall'eventuale riduzione o alterazione di questi spazi.

La rinaturalizzazione delle casse di espansione, al termine dei lavori, deve sfruttare gli elementi di naturalità già presenti ed appositamente conservati sul territorio durante le diverse fasi di cantierizzazione dell'opera. Un impatto eccessivamente perturbativo o addirittura distruttivo dell'opera su biotopi pregiati tra quelli preesistenti deve essere valutato in modo fortemente negativo. Tali biotopi potrebbero, tra l'altro, rappresentare la residenza di comunità già stabilizzate, quindi in grado di colonizzare per prime il territorio al termine delle lavorazioni. Si deve tenere conto di ciò anche per quanto riguarda la fase cantieristica.

3.2.2 Criterio n°2: Protezione specie rare e/o endemiche

La tutela delle specie rare e degli endemismi è un obiettivo che trova riscontro nelle stesse normative internazionali: si tratta dunque di effettuare opportune valutazioni in merito. La rarità deve essere calcolata anche a scala regionale. In tal senso ad esempio anche specie comuni nei boschi mesoigrofili, ma confinate nei pochi lembi relitti dei boschi planiziali dell'Arno devono essere prese in considerazione.

In tal senso può essere valutato favorevolmente anche un prelievo di materiale biologico o di ecocelle dagli ecosistemi limitrofi per interventi di impianto (seppure ciò possa richiedere tempi di realizzazione più lunghi in quanto i "serbatoi" naturali consentono prelievi modesti e non estensivi, pena la loro distruzione) e meno quelli che utilizzano organismi provenienti da zone lontane.

3.2.3 Criterio n°3: Diversità morfologica

Il buon equilibrio ecologico dell'ecosistema fluviale è assicurato dalla presenza di una biocenosi ricca e diversificata, modulata secondo le variazioni fisiche e ambientali del territorio. L'eterogeneità morfologica dell'habitat è un valore fondamentale ai fini della biodiversità. Anche la conservazione di vegetazione ripariale garantisce la presenza di ripari e nascondigli per il riposo e la predazione.

Le opere che hanno un impatto negativo sulla biodiversità sono, ovviamente, quelle che tendono a dare uniformità al sistema: ad es. la perdita di curve, meandri, raschi e pozze nell'alveo, la riduzione della vegetazione di sponda e, conseguentemente, la riduzione delle zone d'ombra, la piantumazione di una sola specie arborea, la rettificazione e cementificazione delle sponde. Sono preferibili opere che nella fase di movimento terra e di riporto di terreno all'interno delle casse, modellino il terreno in modo da ottenere forme variabili e contrastanti: sinuosità e asperità negli argini, profili a volte degradanti, a volte ripidi, presenza di asperità del fondo per la creazione di nicchie ecologiche, alture e bassure per la creazione di pozze, zone di flusso incanalato con curve e isole. Quando l'area di laminazione risulterà sommersa si avrà un'ulteriore, temporanea, differenziazione morfologica: le acque di piena, investiranno e sommeranno la vegetazione, depositeranno parte del loro carico solido, alimenteranno eventualmente bacini preesistenti e formeranno nuove pozze nelle zone più depresse.

3.2.4 Criterio n°4: Aumento di naturalità del sistema

L'ipotesi di recupero di aree degradate o di intervento per riportare biotopi soggetti ad elevata pressione antropica alla piena ripresa della loro funzione originale è sicuramente un elemento di pregio per un progetto. Le casse di espansione, nei periodi di inattività possono permettere a biotopi paranaturali di sviluppare le loro potenzialità. Un esempio di aree idonee per la costruzione di casse di espansione sono bacini lacustri di cave di inerti fuori alveo. La rinaturalizzazione quindi deve essere valutata non solo in quanto piantumazione di essenze, ma per i rapporti funzionali che l'ambiente rinaturalizzato ha con il territorio circostante.

3.2.5 Criterio n°5: Corridoi biologici acquatici

Il libero movimento degli organismi rappresenta un fattore chiave per la protezione delle specie: l'isolamento può portare all'estinzione popolazioni poco numerose sia per fattori esterni (eventi casuali quali ad esempio la scomparsa di un habitat particolare) sia interni (depressione da incrocio, perdita di variabilità genetica, difficoltà a trovare il partner per l'accoppiamento)

La creazione di opere trasversali, ad esempio, le briglie senza la previsione di opere di mitigazione dell'impatto sulla limitazione al moto dell'ittiofauna (scale di risalita, scivoli ecc.) deve essere quindi valutata negativamente.

3.2.6 Criterio n°6: Modulazione delle inondazioni

L'impatto ecologico di un'opera di laminazione risente anche del differenziale tra la frequenza di sommersione del territorio prima della realizzazione dell'opera e quella successiva. Questo differenziale può essere indifferentemente positivo o negativo, a seconda del tipo, dell'ubicazione e delle modalità di gestione dell'opera. Una cassa in derivazione ottenuta arginando una golena, ad esempio, viene inondata più raramente rispetto al passato mentre il territorio occupato da una cassa in linea può essere sommerso più frequentemente rispetto allo stato antecedente alla realizzazione dell'opera.

È evidente che, ove la sommersione è più rara rispetto alla situazione *naturale*, occorre programmare periodiche inondazioni con limitati tiranti d'acqua in modo da permettere alle comunità vegetali igrofile ed animali di riadattarsi alle inondazioni e di riequilibrare il funzionamento dell'ecosistema e del suo reticolo d'acque superficiali e sotterranee analogo a quello che esisteva prima della realizzazione dell'opera. Grazie all'induzione di queste *sommersioni ecologiche si possono* recuperare habitat e biocenosi selezionate (esempio boschi mesoigrofilo) legate agli ambienti golenali periodicamente inondati. Tale opportunità, estremamente interessante dal punto di vista didattico e scientifico, consente di concepire un sistema versatile in grado di conservarsi spontaneamente.

3.2.7 Criterio n°7: Naturalità delle strutture

L'introduzione di elementi artificiali riduce, in generale, la qualità di un ambiente. Nel terreno vivono organismi che potrebbero essere danneggiati dalla presenza di materiali non biodegradabili e con caratteristiche meccaniche inconsuete. La preferenza, in fase di progetto, deve essere data a quelle opere che prevedono minor impiego di elementi artificiali, anche se non visibili.

3.2.8 Criterio n°8: Processi autodepurativi

L'apporto di acque di esondazione, se inquinate, può condizionare il valore ecologico delle aree umide realizzate all'interno di un'area di laminazione. L'attività degli organismi depuranti dipende inoltre dalle condizioni chimico-fisiche delle acque in particolare temperatura, luminosità, profondità, torbidità e concentrazione di ossigeno. Le casse d'espansione possono agire in modo positivo sul processo di autodepurazione delle acque, se concorrono fattori come la presenza di piante igrofile con capacità fitodepurativa e l'alternanza di zone di riossigenazione con zone di sedimentazione.

Le scelte progettuali che esaltano il ruolo depurativo delle zone umide, sono quelle che prevedono impianti stabili di vegetazione erbacea e arboreo-arbustiva nelle aree umide. Le piante acquatiche flottanti, ovvero galleggianti e prive di rapporto col suolo, e le piante idrofite radicate, entrano nel processo di depurazione assorbendo elementi nutritivi dall'acqua o agendo da filtro meccanico per le particelle solide sospese o ancora fornendo un supporto alle colonie batteriche allo zooplancton e alle alghe. La vegetazione è inoltre in grado di ridurre la temperatura e la luminosità schermando i raggi del sole.

3.2.9 Criterio n°9: Continuità tra ambiente fluviale e terrestre

I fiumi, sia nel corpo idrico che nelle fasce ripariali, sono corridoi favorevoli al movimento della fauna selvatica. In un territorio fortemente antropizzato, dove le aree naturali sono vere e proprie isole, spesso rappresentano l'unica via con la quale le popolazioni possono mantenere un minimo di flusso genico. Il valore di tale funzione dipende dalla continuità della zona riparia.

La cassa di espansione va valutata secondo la capacità di allargamento della frangia di ambiente ecotonale, da una parte, di mantenimento della continuità all'interno dei corridoi esistenti e la connessione dei biotopi con l'intorno, dall'altra. Cinture arginali prive di opportuni elementi di collegamento con il territorio circostante, opportunamente coperte di vegetazione arbustiva e arborea, non si prestano a tale funzione e riducono la diversità del territorio.

3.2.10 Criterio n°10: Polifunzionalità

Le zone umide, come emerge chiaramente dal capitolo precedente, sono sistemi complessi che assolvono ad una molteplicità di funzioni ecologiche, pertanto immaginare un'opera idraulica insistente su tale ambiente, con l'unica funzione di laminazione delle piene appare estremamente riduttivo e controproducente ai fini del successo finale del recupero. Occorre pertanto dare il massimo impulso alla polifunzionalità dell'opera rinaturalizzata, ad esempio attraverso scelte progettuali che esaltino contemporaneamente il ruolo depurativo, ricreativo, o naturalistico delle zone umide.

3.3. Procedura per la valutazione ecologico-ambientale dell'opera idraulica

Una volta definite le possibili alternative progettuali, occorre completare la procedura di gerarchizzazione, con l'attribuzione di *punti rango* ad ogni tipologia di soluzione e per ognuno dei dieci criteri decisionali più sopra definiti. Tali *punti rango* vengono poi sommati tra loro per fornire il risultato finale. In generale si opta per condizionare ulteriormente la scelta attraverso una procedura di ponderazione attraverso *valori di merito*. Il valore parziale V_{pi} per l' i -mo criterio decisionale è calcolato moltiplicando il valore di rango V_r per il relativo peso o valore di merito V_{mi} .

$$V_{pi} = V_r V_{mi} \quad (1)$$

Il valore finale, su cui valutare il valore gerarchico delle soluzioni, è dato da:

$$VF = \sum_i V_{pi} \quad (2)$$

4. L'inserimento ambientale delle casse di espansione

In questo paragrafo vengono esaminate alcune problematiche di impatto e inserimento ambientale riguardanti in particolare la fase di cantiere, la scelta delle specie da mettere a dimora, la definizione delle misure specifiche per ogni ambito di intervento.

4.1 Fase di cantiere

La realizzazione di una cassa di espansione comporta sovente una notevole quantità di movimenti di terra, che portano alla luce, in ampie estensioni, il substrato pedogenetico alluvionale sterile. Allo scopo di mitigare l'impatto portato da tali lavorazioni, è necessario realizzare un accurato piano preliminare di *esbosco* in modo da mantenere sempre, col procedere delle lavorazioni, una copertura vegetale accettabile per la fauna. La vegetazione da conservare va accuratamente protetta anche da danni alle radici, dal calpestio di mezzi pesanti e quindi va adeguatamente segnalata per una fascia di protezione di sufficiente larghezza.

Contro i danni dell'accumulo di polveri sollevate dai mezzi in transito sulle piste di cantiere, in particolare sulle zone umide, si deve provvedere all'inaffiammento giornaliero o alla sistemazione di opportuni ripari.

Per quanto concerne la vegetazione arboreo arbustiva dei piani golenali è bene valorizzare le eccellenti capacità di riproduzione vegetativa delle specie legnose ripariali come il pioppo e il salice. È dunque necessario conservare vitali i ceppi, gli astoni, i polloni e i giovani rami delle piante disboscate, per reimpiantarli a sistemazione ultimata.

Si è detto che le opere di scavo e di riporto determinano l'asportazione di ingenti quantità di terreno di scotico. È doveroso fare sì che i volumi di terreno agrario soggetti a sterro siano conservati, opportunamente ammendati e concimati, al fine di essere riutilizzati a ripristinare la fertilità dei suoli originali.

L'escavazione di terreni che non hanno mai supportato un manto vegetale può generare cumuli di materiale inerte anche di notevole altezza. Tali terreni inidonei all'impianto di cenosi vegetali evolute costituite da specie legnose, possono ospitare soltanto impianti di specie erbacee pioniere molto rustiche, detti di *successione primaria*. Nel caso non si disponga di terreni fertili si potranno impiantare specie più esigenti utilizzando ecotipi locali anch'essi molto rustici, da mettere a dimora in fosse da colmare con terreno fertile.

4.2 Scelta delle specie per gli interventi di rivegetazione

La ricostruzione della vegetazione ripariale e lenticale comporta tecniche di esecuzione che fanno riferimento a impianti artificiali su suoli nudi o scarsamente fertili, a causa di eventuali movimenti di terra che le opere di sistemazione idraulica, come si è dianzi accennato, spesso comportano. Occorre tuttavia tenere in considerazione la facile e repentina ricostituzione spontanea delle cenosi idrofite e di greto. Gli ambienti umidi o sommersi non sono difatti tollerati che dalle specie costituenti le fitocenosi climatiche. Non sussiste quindi il pericolo di infestazione da parte di specie invasive e banalizzanti provenienti da altri ambienti.

La piantagione di essenze tramite spargimento di talee o rizomi può essere effettuata, se necessario, quando si voglia ottenere una rapida affermazione della copertura vegetale. La scelta del tipo di impianto viene fatta sulla base delle indicazioni ricavate dai rilievi geomorfologici, pedo-climatici e floristico-vegetazionali e l'impiego delle fitotecnologie sarà indirizzato verso la valorizzazione della naturale predisposizione degli ecosistemi fluviali a ricostituire spontaneamente e velocemente il loro patrimonio floristico e vegetazionale.

In primo luogo, nell'impianto sia delle idrofite lentiche, sia delle cenosi pioniere di greto, si potrà limitare la rinaturazione artificiale al piano emerso in considerazione della rapida invasione dei suoli immersi. Gli impianti di specie che presentavano, prima della sistemazione idraulica, la maggior copertura nei popolamenti naturali dovranno essere a sesto di impianto molto ampio (8 x 8 metri). Questa metodologia, non impedendo l'apporto di germoplasma per disseminazione spontanea, consente di accelerare la ricolonizzazione dei sub-

strati, di realizzare buone economie e di assecondare il disegno della natura nel ripristinare la struttura e la distribuzione della vegetazione.

I meccanismi selettivi incidenti sui popolamenti vegetali di ripa, dipendono essenzialmente dalla frequenza e dal periodo di sommersione e dalla morfologia e natura del substrato. Una prima indicazione sulla scelta delle specie da impiantare deriva dalla sensibilità ai danni da sommersione. Riportiamo, in tal senso, una classificazione delle specie arboreo-arbustive redatta sulla base di osservazioni sperimentali (Montermini A., 1979)

Sono specie sensibili: il sambuco nero (*Sambucus nigra*), il ligustro (*Ligustrum vulgare*), il biancospino (*Crataegus monogyna*), il prugnolo (*Prunus spinosa*), lo spin cervino (*Rhamnus catharticus*), il noce (*Juglans regia*), il frassino (*Fraxinus excelsior*), l'ontano (*Alnus glutinosa*), l'acero campestre (*Acer campestre*), il ciliegio selvatico (*Prunus avium*). Sono invece specie resistenti: i salici (*Salix* spp.), il pioppo bianco (*Pioppo bianco*), il pioppo nero (*Populus nigra*), il sanguinello (*Cornus sanguinea*).

Successivamente tali essenze dovranno essere distribuite nei diversi siti di impianto, caratterizzati da differenti periodi di sommersione e corrispondenti alle più rappresentative forme morfologiche delle golene fluviali. Riconoscendo tali forme all'interno delle casse di espansione e/o stimando i periodi di sommersione dei settori, sarà semplice riportare le indicazioni desunte di seguito nella progettazione degli impianti vegetali in cassa.

Alveo attivo e bordo lanche

Con periodi di sommersione da 30 a 200 giorni l'anno. I bordi interni dell'arco di meandro delle lanche, che degradano dolcemente verso la zona umida, possono ospitare con successo solo salice bianco (*Salix alba*). Anche le specie relativamente igrofile quali pioppi e ontani non resistono a sommersioni che possono protrarsi anche per intere stagioni. I salici devono però essere mantenuti a portamento arbustivo, soprattutto sui bordi di scarpate esposti a rischi di smottamento.

Paleoalveo limoargilloso

Con periodi di sommersione da 30 a 90 giorni l'anno. Il fondale dei paleoalvei, prosciugatisi da un cinquantennio, ha solitamente tessitura limoargillosa e può ospitare esclusivamente salici e, con minore percentuale di attecchimento, pioppi neri e pioppi bianchi. Le caratteristiche del sottosuolo consentono nella stagione primaverile-estiva, lo sviluppo di un sottobosco di specie igrofile a rapido sviluppo. In questi casi è necessario provvedere ad interventi di protezione dalle infestanti (convolvolo, rovi).

Paleoalveo limosabbioso

Con periodi di sommersione da 30 a 70 giorni l'anno. Il fondale dei paleoalvei abbandonati in tempi relativamente recenti, a tessitura limosabbiosa può ospitare salici di diverse specie, pioppi neri e pioppi bianchi, con maggiore percentuale di attecchimento che non in suoli limosi, per il maggiore effetto drenante che solitamente ne limita il periodo di sommersione.

Banche neocostituite, argini minori

Sono banchine derivate dal riporto di materiale di scavo, che, per definizione, hanno periodi di sommersione più limitati.

La minore durata dei periodi di asfissia radicale rende possibile la posa dei salici di qualsiasi varietà che sono dotati di notevole effetto di stabilizzazione dei versanti grazie all'apparato radicale.

È inoltre indicata la posa di specie meno resistenti alla sommersione quali sanguinelli o frangole e in sedi maggiormente rilevate di rosa canina, prugnolo e bianco spino, arbusti, questi, che tollerano in misura minore la sommersione. È indispensabile mantenere le piante a portamento arbustivo ed evitare specie arboree pur resistenti come il pioppo bianco o nero, che hanno sviluppo radicale superficiale, raggiungono altezza e peso notevole e sono pertanto soggette ad un elevato rischio di crollo. In queste formazioni è spesso utile prevedere interventi di protezione dalle infestanti che provengono dai coltivi

Ripe alte e terreni golenali stabilizzati

Con periodi di sommersione da 15 a 30 giorni all'anno. In tali condizioni è possibile realizzare impianti con maggiore ricchezza di specie, anche arboree, quali: sambuco nero, ligustro, ciliegio selvatico e, a quote maggiori: biancospino, rosa canina, prugnolo. E' consigliabile evitare in corrispondenza delle scarpate, la posa di alberi che raggiungono notevoli dimensioni, eventualmente optando per un governo a ceduo degli esemplari utilizzati.

Rilevati e terreni golenali "alti"

Con periodo di sommersione da 0 a 5 giorni. Difese arginali secondarie o abbandonate e rilievi corrispondenti a "isole" che consentono di apprezzare in golena aperta situazioni sperimentali isolate di terreni allagati solo eccezionalmente, o sporadicamente e per brevissimi periodi, possono ospitare popolamenti di querce, aceri campestri, olmi anche di notevoli dimensioni oltre ad arbusti di varie specie.

La suddivisione della aree di impianto non deve impedire l'effettuazione di impianti a carattere sperimentale, sempre nel generale rispetto delle esigenze delle singole specie, data la difficoltà di determinare con assoluta esattezza le probabilità di successo delle varie essenze in un determinato microambiente

Per quanto riguarda gli ecotipi erbacei, la maggior parte delle essenze, non essendo reperibile in commercio, dovrà essere reperita in loco attraverso la raccolta di semi o di parti della pianta in grado di rigenerare nuovi individui, o il trapianto. Tra le specie acquatiche si segnalano:

Alisma plantago aquatica (mestolaccia comune);

Calla palustris (calla);

Canna indica (cannacoro);

Eupatorium cannabinum (canapa acquatica);

Iris pseudoacorus (giglio acquatico);

Lobelia cardinalis (fior di cardinale);

Lysimachia vulgaris (mazza d'oro comune);

Lythrium salicaria (salcerella comune);

Mentha acquatica (menta d'acqua);

Thalia dealbata (talìa);

Typha latifolia (liscia maggiore);

Phragmites australis (cannuccia di palude)

Queste essenze sono segnalate anche per il loro importante contributo alla funzione autodepurativa degli ecosistemi acquatici, pertanto è da prevederne l'utilizzo nel caso di interventi che mirino ad una gestione in tal senso.

La lista delle specie da impiegare può essere integrata da altre per le quali si è riscontrata locale presenza e/o dominanza nel corso del rilievo della vegetazione.

Per gli inerbimenti tradizionali, sugli argini meno sommergibili si potrà ricorrere a semine con miscele standard di sementi reperibili in commercio, contenenti graminacee e dicotiledoni rustiche e a rapida crescita.

4.3 Ambiti e tecniche di intervento

Nel presente paragrafo si prendono in esame gli elementi strutturali e gli ambiti di intervento su cui focalizzare l'attenzione ai fini della mitigazione, del recupero e della successiva gestione naturalistica delle casse. Essi riguardano sia casse di espansione in linea che in derivazione; e sono di seguito elencati:

1. opere trasversali di controllo;
2. arginature;
3. sfioratori;
4. eventuali canali di alimentazione o scarico;
5. l'area della cassa;
6. aree limitrofe alla cassa

4.3.1 Opere trasversali di controllo

La struttura di controllo per le casse, è l'opera trasversale destinata a creare il rigurgito necessario all'inondazione della cassa. È solitamente realizzata, come illustrato nei paragrafi precedenti, in gabbioni, massi ciclopici o in muratura e calcestruzzo. In condizioni ordinarie, risulta dunque visibile, determinando un impatto spesso non trascurabile sul paesaggio. La mitigazione richiede tecniche di ingegneria naturalistica tali da permetterne un buon inserimento nell'ambiente. Questo richiede di evitare, ove possibile, strutture rigide in calcestruzzo e utilizzare soluzioni con gabbioni o materassi. Si consiglia di rinverdire le strutture tramite l'impianto di salici con talee e astoni.

La struttura trasversale di controllo forma una barriera spesso invalicabile alla risalita dei pesci. Non tutti i pesci, procedendo verso monte, riescono difatti a superare la corrente defluente attraverso le luci praticate nella traversa. È pertanto necessario, anche ai sensi delle direttive della Regione Toscana, prevedere opportune rampe in pietrame oppure vere e proprie scale di risalita.

Tutte le opere trasversali, fissando localmente la quota del fondo, vengono a interferire, in maniera più o meno significativa, con l'assetto planimetrico del fondo. La eventuale modificazione della pendenza si riflette immediatamente sulla capacità di trasporto della corrente andando a interferire con i meccanismi dell'erosione, del deposito o, se questo esiste, con lo stato di equilibrio attuale. Queste conseguenze possono manifestarsi sul corso d'acqua anche a grande distanza dall'opera.

4.3.2 Argini perimetrali esterni

Gli argini che delimitano il perimetro della cassa presentano le maggiori possibilità di recupero: il manto può essere realizzato con il terreno di scotico prelevato dall'area della cassa, che, se terreno agrario, è dotato di una buona fertilità per cui si presta all'impianto delle specie legnose più esigenti del bosco meso-igrofilo: *Alnus glutinosa*, *Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior* accompagnate dall'impianto di specie pioniere quali salici e pioppi.

Il passo iniziale sarà un inerbimento preliminare con miscuglio di semi adatto, dopodiché si potrà procedere all'impianto di arbusti e alberi.

La percorribilità degli argini deve essere assicurata con una strada al ciglio con substrato in misto granulare per opere stradali, per agevolare la fruizione dell'area, le operazioni di manutenzione e di monitoraggio complessivo dell'area.

4.3.3 Soglie sfioranti

Le soglie sfioranti al passaggio della corrente sono sottoposte a sollecitazioni più o meno intense. Per resistere a tali sollecitazioni e contenere allo stesso tempo l'impatto si può ricorrere a soluzioni che utilizzano scogliere in pietrame, che ben si adattano al substrato.

4.3.4 Canali derivatori e scolmatori delle casse di espansione

Esiste la possibilità che alcune casse risultino alimentate attraverso canali a loro volta collegati al corso d'acqua tramite opere di derivazione. Qualora, ad esempio, sia possibile derivare una minima portata di tempo asciutto si può ottenere l'ossigenazione e il ricambio delle acque nelle zone umide e conservare la forza edificatrice dell'habitat. La determinazione del flusso minimo vitale richiede considerazioni ecologiche da stabilire caso per caso.

Qualora i canali vengano ad avere una qualche rilevanza idraulica, si consiglia la realizzazione di sezioni composite con alveo di magra e golena. L'andamento planimetrico dovrebbe evitare percorsi rettilinei, quantomeno per l'alveo di magra. Si consiglia poi di tener conto di indicazioni quali:

1. impianto di bordura ripariale sul ciglio di sponda o al piede di eventuali argini;
2. consolidamento dei tratti di sponda a rischio di erosione attraverso coperture diffuse di salici o scogliere con talee;
3. inerbimento delle scarpate spondali o degli argini;
4. rimboschimenti sul piano insommergibile con creazione di fasce o macchie arboreo-arbustive.

La vegetazione acquatica ai bordi del canale deve essere impiantata all'altezza del pelo libero dell'acqua in condizioni di deflusso di morbida. Si consigliano specie igrofile erbacee come la cannuccia di palude (*Phragmites australis*) o la tifa (*Typha* spp.).

4.3.5 *L'area di laminazione in derivazione*

Le casse di espansione in derivazione, ottenute con l'abbassamento dei piani golenali, possono essere disegnate seguendo due distinti tipi di configurazione:

1. un solo bacino paranaturale lacustre con emissario e immissario;
2. una serie di bacini minori collegati in linea, separati da brevi tratti incanalati.

Per entrambe le tipologie è importante definire il rapporto tra le superfici acquatiche e terrestri scegliendo l'ampiezza e la profondità dello scavo, che comunque deve essere sempre sottofalda. La morfologia finale deve essere, come di consueto, il più possibile varia; molto favorevole è la creazione di bacini con al centro piccoli isolotti da rivegetare con salici arbustivi e arborei.

La seconda tipologia permette di creare un'alternanza di buche e raschi. Il rilascio di massi ciclopici nei settori a deflusso incanalato permette di diversificare le traiettorie della corrente. Con i massi o con altri materiali è anche possibile creare dei deflettori di corrente: inseriti lateralmente sulle sponde questi permettono di imprimere all'acqua una direzione voluta innescando fenomeni di erosione e deposito di materiale, restringimenti locali di sezione, aumenti di velocità con conseguente diversificazione morfologica.

Le aree di laminazione possono essere suddivise in settori, tale divisione viene realizzata attraverso la costruzione di argini interni dotati di soglia sfiorante e scarico di fondo.

Oltre a fini idraulici la divisione in settori della cassa consente di utilizzare un'ampia superficie, con differenze di quota significative, contenendo l'altezza degli argini. Non di meno essa offre l'opportunità di assegnare ad ogni settore un differente tipo di gestione cui corrisponderà un diverso tipo di inserimento ambientale, adempiendo in tal modo alla polifunzionalità del progetto.

Un settore a gestione strettamente naturalistica, dovrà essere interessato meno frequentemente dalle inondazioni, quindi dovrà essere posto a valle di altri con gestione meno conservativa ma con maggior capacità di laminazione (ad esempio un settore con destinazione estrattiva).

La forma dei settori dovrebbe essere meno geometrica possibile in modo da ridurre l'artificialità del paesaggio. Gli argini interni dovrebbero essere rivegetati e protetti dall'erosione, pertanto andrebbero rinforzati con interventi di ingegneria naturalistica lungo tutto il corpo arginale, e con una scogliera in massi rivegetata in corrispondenza della soglia sfiorante.

Eventuali ingrossamenti delle fasce arginali potrebbero essere sede di impianto di piccole macchie ceduo-arboree o arbustive, che, a pieno invaso, fungerebbero da isolotti di rifugio per la fauna e abbellirebbero notevolmente il paesaggio.

4.3.6 *Le aree periferiche alla cassa*

Un requisito fondamentale per l'inserimento dell'opera nel paesaggio è che questa sia circondata da una fascia ecotonale arboreo-arbustiva ben strutturata, in modo da ottenere un buon mascheramento dell'argine.

esterno e da consentire la connessione con le fasce di vegetazione (filari e siepi ai margini dei campi, eventuali bordure ripariali) o i biotopi che la sagoma dell'area stessa incontra sul territorio.

Continuità di struttura dovrà essere garantita, ovviamente, anche lungo il fiume. Pertanto qualsiasi interruzione delle fasce ripariali, nell'ambito dell'area delle lavorazioni dovrà essere ricucita con l'impianto delle essenze preesistenti

In relazione alle caratteristiche topografiche del territorio in cui si localizza una cassa di espansione in derivazione è possibile creare ulteriori derivazioni a partire dal bacino di laminazione che vadano ad alimentare settori della cassa situati al di là di arginelli interni, oppure del tutto all'esterno dalla cassa stessa oltre gli argini perimetrali. Il superamento degli argini può avvenire tramite intubamento del ruscello; in occasione delle piene, tuttavia, l'ingresso dell'acqua nella tubazione deve essere impedito e quindi la tubazione deve comprendere un dispositivo di chiusura.

Questi settori possono ospitare habitat palustri di grande valore naturalistico con ulteriore funzione fitodepurativa. La presenza di flussi idrici, infatti, influenza la qualità e la capacità depurativa dei sistemi palustri in quanto permette l'areazione del corpo idrico con conseguente aumento del tasso di ossigeno disciolto e con conseguente maggiore sviluppo di organismi animali con attitudini depurative; essi promuovono inoltre il trasporto del materiale solido sospeso consentendone la redistribuzione.

Se l'area umida si trova all'esterno della cassa si può fare in modo che essa intercetti un fosso irriguo contribuendo al miglioramento della qualità delle sue acque prima della confluenza con il fiume. La sezione del canale tuttavia, prima della confluenza nel bacino palustre, deve essere allargata per formare un "bacino-anticamera" largo e appiattito, nel quale piantare un canneto. Tale formazione permette di imprigionare le particelle solide grossolane e i sedimenti trasportati dal canale, consentendo il trattamento preliminare degli afflussi in area umida.

L'apertura della tubazione che convoglia nella nuova palude le acque della cassa di espansione avviene soltanto quando la maggior parte del carico solido del bacino di laminazione è decantato. Tuttavia un pretrattamento analogo a quello sopra descritto deve essere previsto a valle della tubazione.

Al centro dell'area umida ricreata occorre scavare uno stagno più profondo e procedere all'impianto delle diverse fasce di vegetazione. La riconnessione al fiume avviene tramite restringimento progressivo della sezione del bacino fino al definitivo convogliamento in un canale scolmatore che dovrà essere sistemato con criteri naturalistici che massimizzino la diversità ambientale e la gradevolezza estetica.

4.4 Biotopi preesistenti inclusi nella cassa

Gli argini perimetrali delle casse di espansione non dovrebbero tagliare o isolare aree di pregio. In ogni caso i biotopi di pregio ricadenti nell'area di laminazione dovrebbero essere risparmiati da movimenti terra in grado di danneggiarli. La loro presenza richiede la realizzazione di dispositivi per il controllo della loro esposizione ai fenomeni di inondazione, dal momento che fenomeni troppo frequenti o tiranti idrici troppo elevati comporterebbero una perdita di equilibrio degli ecosistemi e un danneggiamento delle relative componenti.

Ad esempio si possono realizzare coronelle arginali che circondano i biotopi ad anello o che si chiudano sugli argini perimetrali. Tali coronelle potrebbero essere sistemate con talee di salice a gradinata viva, in modo da aumentarne la scabrezza e rallentare il flusso idrico favorendo contemporaneamente la sedimentazione del carico solido attraverso la funzione di filtro meccanico dei vegetali.

Nel caso di macchie boschive mesoigrofile o mesofile la tolleranza delle piante alla sommersione è più bassa, pertanto gli argini dovrebbero essere sufficientemente alti e tracimabili soltanto in occasione di piene eccezionali. Occorre prevedere manufatti di scarico in grado di garantire un rapido svuotamento dell'area con deflusso delle acque, attraverso l'argine perimetrale, verso l'esterno della cassa, con successivo deflusso, ad esempio, in un fosso o un canale irriguo situato nelle vicinanze. Lo scarico può essere anche direzionato verso la cassa in modo che lo svuotamento avvenga quando sia terminato il ritiro delle acque.

Nel caso di zone umide inondazioni occasionali possono essere tollerate a patto che non comportino eccessivo apporto di sedimenti e di inquinanti. È importante quindi che gli argini interni siano costruiti all'esterno del perimetro del biotopo ad una certa distanza in maniera tale da ricavare una fascia tampone entro la quale potenziare il filtro vegetale esterno del biotopo umido (ad es. il canneto o il saliceto arbustivo) oppure se questo è già ben strutturato, prevedere un'area a scabrezza elevata o ad alto indice di infiltrazione (fondo ghiaioso, massi sparsi, inerbimenti, impianto di arbusti di salice radi).

L'inclusione in casse di espansione di bacini estrattivi di varie dimensioni è da accogliere positivamente, in quanto, essendo tali bacini biotopi molto artificializzati, la costruzione della cassa non incide su suoli di elevata capacità d'uso o su biotopi di valore e, al contrario, influisce positivamente sul territorio, in prospettiva di un buon recupero naturalistico.

La capacità di laminazione di tali bacini è variabile in base alle fluttuazioni del livello piezometrico, ma può essere aumentata grazie ad interventi di rialzo arginale

4.5 Destinazione funzionale delle aree di laminazione

Nel presente paragrafo vengono prese in considerazione alcune tra le diverse possibilità di gestione del territorio applicabili nel contesto delle casse di espansione: naturalistiche, ricreative, estrattive, agricole e selvicolturali. Per alcune di esse, in particolare le forme di gestione naturalistica e l'uso estrattivo occorre operare, già nelle prime fasi costruttive dell'opera, in modo da soddisfare le condizioni preliminari perché i vari sistemi si affermino e funzionino nel modo voluto.

4.5.1 Casse di colmata ad uso estrattivo

Le casse di colmata, ovvero settori utilizzati come camere di sedimentazione per la successiva estrazione di inerti da costruzione, in genere sabbie grossolane. Vengono scavati, sottofalda, invasi profondi tanto da trattenere volumi idrici abbastanza cospicui ma non tanto da rendere difficoltoso il successivo dragaggio. Le sponde dovrebbero essere riprofilate con pendenze medie in modo da consentire:

- i. l'impianto di arbusti o una copertura diffusa con talee; la fascia arbustiva contribuisce al mascheramento del bacino ed a rallentare l'afflusso d'acqua. Tuttavia la frangia arbustiva deve essere interrotta in uno o più punti per permettere l'accesso ai macchinari estrattivi.
- ii. la limitazione di proliferazioni eccessive di canneto, in modo da non limitare l'area di estrazione;
- iii. la costituzione di un sistema di accesso al bacino dei macchinari per l'estrazione (ad esempio una rampa in discesa, libera dalla vegetazione).

L'eventuale area interposta tra la sponda del bacino e gli argini interni può essere seminata con specie erbacee adatte previa sistemazione di terreno vegetale, oppure può essere lasciata a fondo ghiaioso consentendo la successiva ricolonizzazione naturale di specie pioniere, oppure ancora si possono piantare arbusti iso-

lati di salice.

La gestione estrattiva dovrebbe essere utilizzata per i settori di cassa di prima inondazione, in modo da sfruttare il contributo di chiarificazione delle acque prima di alimentare le casse a monte, che potranno così essere assegnate ad una gestione più spiccatamente naturalistica.

L'ambiente non escluderebbe comunque una frequentazione da parte della fauna selvatica, ad esempio pesci e uccelli quali anatidi e predatori di pesci.

4.5.2 Stagni a destinazione strettamente naturalistica

Questo tipo di intervento è finalizzato a rendere l'ambiente adatto alla sopravvivenza di comunità diversificate di anfibi, il gruppo animale più specificatamente esigente tra quelli che frequentano le zone umide.

Tale gestione è rivolta alla aumento di biodiversità d'insieme dell'opera, e alla conservazione dei delicati equilibri ecologici propri delle zone umide. Ma proprio per questo è auspicabile soltanto per settori di marginali e protetti delle casse di espansione, destinati quindi ad essere invasati soltanto in occasione delle piene maggiori. Le inondazioni infatti sono eventi traumatici che turbano le comunità viventi e agiscono da fattori selettivi, anche se non sono del tutto indesiderabili. Di seguito vengono elencate ed argomentate quelle che si ritengono prescrizioni a maggiore priorità:

- i. il settore da gestire ai fini naturalistici dovrebbe essere protetto da argini sufficientemente alti così da impedire l'invaso in occasione di eventi a maggiore ricorrenza;
- ii. l'area totale del settore dovrebbe possibilmente essere abbastanza vasta da comprendere uno stagno centrale e, al suo intorno, un'area terrestre compatta e grande abbastanza da costituire il bacino di frequentazione ideale della specie più esigente tra quelle censite nel territorio;
- iii. lo stagno deve essere scavato con un profilo molto dolce, tale da permettere l'insediamento di tutte le fasce di vegetazione lenticale, ma deve avere una profondità al centro tale che sia presente anche uno specchio d'acqua libera; il perimetro dovrebbe essere sinuoso più che circolare, ottimale sarebbe la configurazione di un bacino centrale comunicante con più bacini satelliti;
- iv. intorno allo stagno è da prevedere una banda decespugliata in modo da evitare l'eccessivo accumulo di detrito vegetale e da consentire una buona insolazione dell'area; al posto dei cespugli possono essere piantati canneti o prati umidi a seconda del livello di saturazione idrica del substrato;
- v. l'eutrofizzazione e l'accumulo di sedimenti deve essere limitato al massimo, pertanto, nella fascia periferica del settore, al piede dell'argine si dovrà piantare, con funzione di filtro, una macchia arbustiva igrofila prima e una fascia di canneto poi;
- vi. assicurare opportuni dispositivi tecnici tali da indurre appositamente inondazioni di acque chiare, dopo la sedimentazione della maggior parte del carico solido, con ritmi sostenibili da parte della comunità faunistica residente;
- vii. costituire una macchia arborea in zona perimetrale verso la parte distale, più alta rispetto alla quota media del fondo della cassa, a beneficio delle specie arboree;
- viii. promuovere la piantagione di salici arborei e arbustivi isolati nelle zone paludose del canneto in modo da costituire dei posatoi per l'avifauna;
- ix. realizzare capanni o torrette per l'avvistamento dell'avifauna;

4.5.3 Ricostituzione di ambienti periodicamente inondati

Si tratta di un tipo di gestione il cui obiettivo principale è quello di restituire al fiume gli ambienti golenali, consentendogli di “ricreare spontaneamente” l’habitat, attraverso ripetute inondazioni.

La principale lavorazione che determina la configurazione dell’area di laminazione è lo scavo di sbancamento per l’abbassamento dei piani golenali, che porta alla luce i depositi fluviali sottostanti. Il compito di queste lavorazioni è quello di creare una morfologia di base il più possibile varia, mentre una prima fase di impianto dovrà servire ad accelerare l’insediamento della vegetazione. Si suggeriscono quindi le seguenti interventi:

- i. modellare l’area inondabile arginata seguendo le eventuali forme preesistenti dei paleoalvei, oppure creare una morfologia diversificata formando dossi e incisioni di forma variata. È possibile prevedere che certe prominenze del substrato rimangano emerse durante gli invasi a formare isolotti, mentre nelle depressioni si formano, dopo il ritiro delle acque, pozze temporanee;
- ii. scavo sottofalda a formare piccoli stagni o pozze dal perimetro sinuoso e dal profilo di sponda adatto all’insediamento della vegetazione;
- iii. posa non uniforme di terreno vegetale e prima piantagione di specie, prelevate localmente, a diverso grado di attitudine pioniera, ai fini di un immediato *effetto verde*;
- iv. piantagione di canneto intorno ai bacini scavati;
- v. piantagione di salici: isolati sparsi nell’area di laminazione;
- vi. rivegetazione consolidante dei dossi che costituiranno le *isole* emerse durante la fase di invaso.

4.5.4 Gestione agro-silvo-pastorale

Il riutilizzo agricolo delle aree interne alla cassa d’espansione pone problemi diversi in relazione alla frequenza di inondazione dei terreni. In particolare esso può richiedere onerosi interventi di bonifica, sistemazione e a volte ripristino del substrato di terreno agrario dopo le inondazioni, sebbene i nutrienti contenuti nell’acqua di esondazione possano esercitare una forte azione di concimazione. La gestione più proficua è quella delle colture che meglio sopportano la sommersione quali il pioppeto e gli impianti arborei in genere.

Il pioppo è sicuramente l’essenza legnosa di interesse economico che meglio si adatta ai terreni perialveali, con un accrescimento rapido e che fornisce in pochi anni grandi masse di legname facilmente lavorabile. Tuttavia la presenza del pioppo in aree a rischio di esondazione rappresenta una minaccia per la facilità con cui le piante possono essere sradicate dalla corrente idrica.

L’apparato radicale di tali piante infatti è, nel complesso, superficiale e deve sostenere una massa aerea molto sviluppata.

In caso di piena i pioppeti possono essere rimossi, con relativa facilità, essendo grave intralcio al deflusso delle acque ed aumento considerevole della fluttuazione di materiale legnoso in alveo. Anche il pascolo (abbinato a efficaci sistemi di allerta in caso di piena per l’evacuazione delle mandrie) può risultare un tipo di gestione conveniente in quanto richiede unicamente il controllo di eventuali specie infestanti inutili ai fini pascolativi apportate dalle esondazioni.

4.5.5 Gestione sportiva, naturalistica e ricreativa

È auspicabile soprattutto nel caso di grandi casse di espansione derivate da bacini estrattivi, la cui profondità e permanenza delle acque è ideale all'insediamento di una comunità ittica interessante per le attività di pesca. Molti dei progetti di ripristino dei bacini di cava sono difatti improntati sull'attività di pesca sportiva, con interventi uniformi di riprofilatura delle sponde, posa di terreno vegetale, inerbimento e piantagione di poche essenze arboree con poco riguardo all'aspetto paesaggistico e ambientale. Una migliore gestione tende alla creazione di un ambiente lacustre paranaturale, conciliando un valore naturalistico accettabile con le attività sportive.

La presenza di biocenosi diversificate dipende dalla diversità morfologica delle sponde, quindi dalla presenza di zone di acqua poco profonda, tratti non vegetati, canneti, prati umidi e qualche esemplare arboreo o arbustivo ai margini o sugli argini.

Un problema riguardante i bacini estrattivi è spesso l'inquinamento causato dall'eccessivo apporto di sostanze organiche e inquinanti dal fiume e che potrebbe interessare anche le falde acquifere. La creazione di un'area palustre con profondità bassa, in continuità con il corpo idrico principale, può dare un certo contributo all'attivazione di processi di autodepurazione. Purtroppo però la capacità depurante del sistema, venendo a mancare l'apporto continuo di acque ossigenate, potrebbe essere saturata, in condizioni di costante apporto di nutrienti.

La funzione ricreativa è resa, *in primis*, attraverso la previsione di reticoli di percorsi equestri, ciclabili e pedonali, da realizzare con copertura in ghiaia, che possono interessare, soprattutto i rilevati d'argine. Recinzioni, sentieri, capanni di osservazione, ponticelli in legno, aree attrezzate e tabellazioni didattiche sull'ecologia degli ambienti acquatici, l'indicazione delle specie presenti, ecc., sono alcuni ulteriori interventi da prevedere.

Questo tipo di gestione può essere affiancato a qualsiasi altro, tuttavia l'uso ricreativo è generalmente incompatibile con la tutela dell'habitat delle specie faunistiche, quindi un progetto polifunzionale dovrebbe evitare una troppo capillare disseminazione di infrastrutture e, prevedere almeno un'area rifugio per la fauna, realizzata con essenze arboreo-arbustive.

Riferimenti Bibliografici

- AA.VV. *Progetto di parco fluviale del Savio a Cesena*. All'interno di: "Come progettare il parco fluviale, rinaturazione, tutela, valorizzazione", Atti del convegno 2 giugno 1995, 107-313 (1997).
- A.I.P.C.N., *Surveillance et controle des endiguements lateraux de grande longueur*, Supplement au Bulletin n. 69, Bruxelles, 1990.
- Anselmo V. *Dispositivi di invaso e laminazione a basso impatto ambientale*. Estratto dai "Quaderni di idronomia montana" n° 17/1997, Editoriale Bios, 65-75 (1997).
- Arcamone E. *Lo Svernamento di anatidi e folaga in Toscana*. Supplemento n° 1 al vol. 10/1989 dei "Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno", Livorno, 1-92 (1989).
- Arcamone E., Tellini G. - *Cronaca ornitologica toscana: 1988-1989*. Estratto dai "Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno" n° 12, Livorno, 33-66 (1991-1992).
- Arcamone E., Massi A. - *Svernamento delle oche (Gen. Anser) in Toscana*. Estratto dai "Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno" n° 8, Livorno, 131-137.
- Braioni A., Braioni M. G. & De Franceschi P. - *Indici ambientali sintetici di valutazione della qualità delle rive. Presentazione di una scheda di rilevamento*. "Ambiente Risorse Salute", XIII, I n. 23, 45-52 (1994).
- Braioni M.G., Penna G. *I Nuovi Indici Ambientali sintetici di valutazione della qualità delle rive e delle aree riparie: Wild State Index, Buffer Strip Index, Environmental Landscape Indices: il metodo*. *Biologia Ambientale* n° 6, 3-47 (1998).
- Borin M., Razzara S., Zuin M.C. *Chiare, fresche e dolci acque*. Riv. "Acer" n° 2/1999, Il Verde Editoriale Milano, 44-49 (1999).

- De Giuli A., Meneghetti C. *Riserva naturale di Isola Boscone: problemi gestionali di un bosco fluviale*. Riv. "Acer" n° 4/1994, Il Verde Editoriale Milano, 25-27 (1994).
- Ferrari C., Deville E., Richiardone G. Birsa D. - *"Nocino": il ritorno dell'acqua*. Riv. "Acer" n° 1/1997, il Verde Editoriale Milano, 24-26 (1997).
- Ferrari C. *Lungo il fiume, tra gli alberi. Il valore ambientale della vegetazione delle rive fluviali*. All'interno di: "Come progettare il parco fluviale, rinaturazione, tutela, valorizzazione", Atti del Convegno 2 giugno 1995, Macroedizioni, 39-47, Cesena (1997).
- Fin V., Cerato M., Coali R., Cerato M. *Ripristino della piazza di deposito con criteri naturalistici*. Atti del convegno "Tecniche di ingegneria naturalistica e rinaturalizzazione in ambito fluviale applicate alla gestione ittica e alla pesca", Associazione dei Pescatori Dilettanti Trentini - Associazione Italiana per l'Ingegneria naturalistica, 19/10/96. Edizioni Istituto Agrario S. Michele d'Adige (TN), 107-108 (1996).
- Hammer A.D. *Designing constructed wetlands systems to treat agricultural non point source pollution*. Ecological engineering n° 1 /92, Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, 49-82 (1992).
- Knight R. L. *Ancillary benefits and potential problems with the use of wetlands for non point source pollution control*. Ecological engineering n° 1 /92, Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, 97-113 (1992).
- Joly P., Morand A. - *Diversité des stratégies d'histoire de vie sous un régime multifactoriel de perturbations: les amphibiens de la plaine alluviale du Haut-Rhône français*. Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne, 1-33.
- Lambertini M. Meschini E. - *Censimenti delle comunità di uccelli in un'area di grande estensione ed elevata eterogeneità*, "Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno" n° 5, Livorno, 127-143 (1980)
- Ghetti P.F. - *Manuale per la difesa dei fiumi*. Edizioni della Fondazione Giovanni Agnelli, 1-293, Torino (1993).
- Graziano L., A.A. 1996/97 - *Valorizzazione e recupero paesaggistico-ambientale di un'area del territorio fluviale di Po tra Carignano e Carmagnola*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Torino- Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali-Corso di Laurea in Scienze Naturali, Torino, 1-93.
- Malcevschi S., Bisogni L. G., Gariboldi A. *Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale*. Il Verde Editoriale Milano, 1-222 (1996).
- Martignani F., Beltrami P., Maestri E. - *In campo sul Po*. Riv. "Acer" n° 1/1998, il Verde Editoriale Milano, 34-37 (1998).
- Mengoli S. Rovai S. *Il lago di Sibolla: una proposta per la sua salvaguardia*. Riv. "Acer" n° 5/1992, il Verde Editoriale Milano, 15-17 (1992).
- Mitsch W.J. *Landscape design and the role of created, restored and natural riparian wetlands in controlling non point source pollution*. "Ecological engineering" n° 1 /92, Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, 27-47 (1992).
- Musso M. R., A.A. 1993/94 *Censimento di anfibi nella Provincia di Asti*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Torino- Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali-Corso di Laurea in Scienze Biologiche, Torino, 1-158.
- Newbold C., Honnor J., Buckley K. *Nature conservation and the management of drainage channels*, Nature Conservancy Council - Association of Drainage Authorities. Inserto di "Biologia Ambientale" n° 1, 3-6/1993 (1989).
- Newbold C., Purseglove J. & Holmes N. *Conservazione della natura e ingegneria fluviale*, Nature Conservancy Council. Inserto di "Biologia ambientale n°2/92", Centro Italiano studi di biologia ambientale, 1-35 (1983).
- Pagnoncini C. *L'esperienza svizzera nell'applicazione delle tecniche di ingegneria naturalistica in ambito fluviale*. Atti del convegno "Tecniche di ingegneria naturalistica e rinaturalizzazione in ambito fluviale applicate alla gestione ittica e alla pesca", Associazione dei Pescatori Dilettanti Piacentini G. Ingegneria naturalistica. La rinaturazione dei corsi d'acqua e delle aree degradate nella pianificazione del bacino del Po. Riv. "Acer" n° 1/1995, 24-29 (1995).
- Shannon C.E. & Weaver W. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana (1963).
- Trentini - Associazione Italiana per l'Ingegneria naturalistica, 19/10/96. Edizioni Istituto Agrario S. Michele d'Adige (TN), 23-32 (1996).
- Villa M., Musco U. *Bio-manipoliamo il lago*. Riv. "Acer" n°2/98, il Verde Editoriale Milano, 32-37 (1998).
- Vuillot M., Boutin C., Ballay M., Brouillet M., Frenel M., Guettier M., Palisson M., Rosio M., Vachon M. *Depurazione mediante lagunaggio naturale*. Ministère de l'agriculture direction de l'aménagement- C.E.M.A.G.R.E.F. Groupement de Lyon Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture, Inserito in "Biologia ambientale" n° 3-4/1993, 1-52 (1985).